

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61007

Deuxième édition
Second edition
1994-10

**Transformateurs et inductances utilisés
dans les équipements électroniques
et de télécommunications –
Méthodes de mesure et procédures d'essais**

**Transformers and inductors for use
in electronic and telecommunication
equipment –
Measuring methods and test procedures**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61007: 1994

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 (VEI)*.

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

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*.

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61007

Deuxième édition
Second edition
1994-10

**Transformateurs et inductances utilisés
dans les équipements électroniques
et de télécommunications –
Méthodes de mesure et procédures d'essais**

**Transformers and inductors for use
in electronic and telecommunication
equipment –
Measuring methods and test procedures**

© IEC 1994 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

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX XA
PRICE CODE

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Terminologie	12
4 Procédures d'essai	20
4.1 Conditions d'essai et de mesure	20
4.1.1 Précision des mesures	20
4.1.2 Méthodes d'essai équivalentes	20
4.2 Contrôle visuel	20
4.2.1 Positionnement de l'écran de protection	22
4.2.2 Qualité des soudures	22
4.3 Vérification des dimensions	26
4.4 Procédures des essais électriques	26
4.4.1 Résistance des enroulements	26
4.4.2 Essais d'isolement	28
4.4.3 Pertes	36
4.4.4 Inductance	38
4.4.5 Déséquilibre	42
4.4.6 Capacité	54
4.4.7 Rapport de transformation	60
4.4.8 Fréquence de résonance	66
4.4.9 Caractéristiques du transfert de signal	70
4.4.10 Réponse en fréquence	78
4.4.11 Caractéristiques en impulsion	78
4.4.12 Produit temps-tension caractéristique	80
4.4.13 Distorsion harmonique totale	84
4.4.14 Régulation de tension	86
4.4.15 Elévation de température	88
4.4.16 Température de surface	90
4.4.17 Vérification des phases	92
4.4.18 Ecrans	96
4.4.19 Bruit	98
4.4.20 Effet couronne	102
4.4.21 Champs magnétiques	102
4.4.22 Courant d'appel	108

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Terminology	13
4 Test procedures	21
4.1 Test and measurement conditions	21
4.1.1 Measurement uncertainty	21
4.1.2 Alternative test methods	21
4.2 Visual inspection	21
4.2.1 Safety screen position	23
4.2.2 Quality of solder joints	23
4.3 Dimensioning and gauging procedure	27
4.4 Electrical test procedures	27
4.4.1 Winding resistance	27
4.4.2 Insulation tests	29
4.4.3 Losses	37
4.4.4 Inductance	39
4.4.5 Unbalance	43
4.4.6 Capacitance	55
4.4.7 Transformation ratios	61
4.4.8 Resonant frequency	67
4.4.9 Signal transfer characteristics	71
4.4.10 Frequency response	79
4.4.11 Pulse characteristics	79
4.4.12 Voltage-time product rating	81
4.4.13 Total harmonic distortion	85
4.4.14 Voltage regulation	87
4.4.15 Temperature rise	89
4.4.16 Surface temperature	91
4.4.17 Phase test (polarity)	93
4.4.18 Screens	97
4.4.19 Noise	99
4.4.20 Corona test	103
4.4.21 Magnetic fields	103
4.4.22 Inrush current	109

Articles	Pages
4.5 Essais climatiques	108
4.5.1 Généralités	108
4.5.2 Brasabilité	110
4.5.3 Robustesse des sorties et des dispositifs de fixation	110
4.5.4 Chocs	110
4.5.5 Secousses	110
4.5.6 Vibrations (sinusoïdales)	110
4.5.7 Accélération constante	110
4.5.8 Variations rapides de température (choc thermique dans l'air)	110
4.5.9 Etanchéité	110
4.5.10 Séquence climatique	110
4.5.11 Essai continu de chaleur humide	112
4.5.12 Chaleur sèche	112
4.5.13 Moisissures	112
4.5.14 Brouillard salin, essai cyclique (solution de chlorure de sodium)	112
4.5.15 Essai à l'anhydride sulfureux pour contacts et connexions	114
4.5.16 Risques du feu	114
4.5.17 Immersion dans les solvants de nettoyage	114
4.6 Procédures d'essai d'endurance	114
4.6.1 Endurance à court terme (fonctionnement en charge)	114
4.6.2 Endurance à long terme (essai de durée de vie)	116

Clause	Page
4.5 Environmental test procedures	109
4.5.1 General	109
4.5.2 Soldering	111
4.5.3 Robustness of terminations and integral mounting devices	111
4.5.4 Shock	111
4.5.5 Bump	111
4.5.6 Vibration (sinusoidal)	111
4.5.7 Acceleration, steady state	111
4.5.8 Rapid change of temperature (thermal shock in air)	111
4.5.9 Sealing	111
4.5.10 Climatic sequence	111
4.5.11 Damp heat, steady state	113
4.5.12 Dry heat	113
4.5.13 Mould growth	113
4.5.14 Salt mist, cyclic (sodium chloride solution)	113
4.5.15 Sulphur dioxide test for contacts and connections	115
4.5.16 Fire hazard	115
4.5.17 Immersion in cleaning solvents	115
4.6 Endurance test procedures	115
4.6.1 Short-term endurance (load run)	115
4.6.2 Long-term endurance (life test)	117

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS ET INDUCTANCES UTILISÉS DANS LES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRONIQUES ET DE TÉLÉCOMMUNICATIONS – MÉTHODES DE MESURE ET PROCÉDURES D'ESSAIS

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 1007 a été établie par le comité d'études 51 de la CEI: Composants magnétiques et ferrites.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1990 ainsi que les amendements 1 et 2 (1993) et constitue une révision technique.

Le texte de la présente norme est issu de la première édition de la CEI 1007, des amendements 1, 2 et des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
51(BC)309	51(BC)312

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**TRANSFORMERS AND INDUCTORS FOR USE
IN ELECTRONIC AND TELECOMMUNICATION EQUIPMENT –
MEASURING METHODS AND TEST PROCEDURES**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

International Standard IEC 1007 has been prepared by IEC technical committee 51: Magnetic components and ferrite materials.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1990, and amendments 1 and 2 (published in 1993), and constitutes a technical revision.

The text of this standard is based on the first edition of IEC 1007, amendments 1 and 2 and the following documents:

DIS	Report on voting
51(CO)309	51(CO)312

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

TRANSFORMATEURS ET INDUCTANCES UTILISÉS DANS LES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRONIQUES ET DE TÉLÉCOMMUNICATIONS – MÉTHODES DE MESURE ET PROCÉDURES D'ESSAIS

1 Domaine d'application

La présente norme décrit les méthodes de mesures et les procédures d'essais pour les inductances et les transformateurs utilisés dans les équipements électroniques et de télécommunication, qui peuvent être employées dans les spécifications de tous ces composants, en particulier ceux qui entrent dans le cadre de l'assurance de la qualité des composants électroniques du système CEI (IECQ).

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la CEI 1007. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la CEI 1007 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 27, *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*

CEI 44-4: 1980, *Transformateurs de mesure – Quatrième partie: Mesure des décharges partielles*

CEI 50, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*

CEI 68-1: 1988, *Essais d'environnement – Première partie: Généralités et guide*
Amendement 1 (1992)

CEI 68-2: *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais*

CEI 68-2-1: 1990, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essais A: Froid*
Amendement 1 (1993)

CEI 68-2-2: 1974, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essais B: Chaleur sèche*
Amendement 1 (1993)

CEI 68-2-3: 1969, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ca: Essai continu de chaleur humide*

CEI 68-2-6: 1982, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Fc et guide: Vibrations (sinusoïdales)*

TRANSFORMERS AND INDUCTORS FOR USE IN ELECTRONIC AND TELECOMMUNICATION EQUIPMENT – MEASURING METHODS AND TEST PROCEDURES

1 Scope

This standard describes measuring methods and test procedures for inductors and transformers for use in electronic and telecommunication equipment that may be involved in any specifications for such components, in particular those forming part of the IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ scheme).

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of IEC 1007. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on IEC 1007 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*

IEC 44-4: 1980, *Instrument transformers – Part 4: Measurement of partial discharges*

IEC 50, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*

IEC 68-1: 1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*
Amendment 1 (1992)

IEC 68-2: *Environmental testing – Part 2: Tests*

IEC 68-2-1: 1990, *Environmental testing – Part 2: Tests – Tests A: Cold*
Amendment 1 (1993)

IEC 68-2-2: 1974, *Environmental testing – Part 2: Tests – Tests B: Dry heat*
Amendment 1 (1993)

IEC 68-2-3: 1969, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ca: Damp heat, steady state*

IEC 68-2-6: 1982, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fc and guidance: Vibration (sinusoidal)*

CEI 68-2-7: 1983, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ga et guide: Accélération constante*
Amendement 1 (1986)

CEI 68-2-10: 1988, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai J et guide: Moisissures*

CEI 68-2-13: 1983, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai M: Basse pression atmosphérique*

CEI 68-2-14: 1984, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai N: Variations de température*
Amendement 1 (1986)

CEI 68-2-17: 1978, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Q: Etanchéité*
Amendement 4 (1991)

CEI 68-2-20: 1979, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai T: Soudure*
Amendement 2 (1989)

CEI 68-2-21: 1983, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai U: Robustesse des sorties et des dispositifs de fixation*
Amendement 2 (1991), Amendement 3 (1992)

CEI 68-2-27: 1987, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

CEI 68-2-29: 1987, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Eb et guide: Secousses*

CEI 68-2-30: 1980, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Db et guide: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 + 12 heures)*
Amendement 1 (1985)

CEI 68-2-42: 1982, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Kc: Essai à l'anhydride sulfureux pour contacts et connexions*

CEI 68-2-45: 1980, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai XA et guide: Immersion dans les solvants de nettoyage*

CEI 68-2-52: 1984, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Kb: Brouillard salin, essai cyclique (solution de chlorure de sodium)*

CEI 68-2-58: 1989, *Essais d'environnement – Deuxième partie: Essais – Essai Td: Soudabilité, résistance de la métallisation à la dissolution et résistance à la chaleur de soudage des composants pour montage en surface (CMS)*

CEI 270: 1981, *Mesure des décharges partielles*

IEC 68-2-7: 1983, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ga and guidance: Acceleration, steady state*
Amendment 1 (1986)

IEC 68-2-10: 1988, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test J and guidance: Mould growth*

IEC 68-2-13: 1983, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test M: Low air pressure*

IEC 68-2-14: 1984, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test N: Change of temperature*
Amendment 1 (1986)

IEC 68-2-17: 1978, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Q: Sealing*
Amendment 4 (1991)

IEC 68-2-20: 1979, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test T: Soldering*
Amendment 2 (1989)

IEC 68-2-21: 1983, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices*
Amendment 2 (1991), Amendment 3 (1992)

IEC 68-2-27: 1987, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ea and guidance: Shock*

IEC 68-2-29: 1987, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Eb and guidance: Bump*

IEC 68-2-30: 1980, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Db and guidance: Damp heat, cyclic (12 + 12-hour cycle)*
Amendment 1 (1985)

IEC 68-2-42: 1982, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Kc: Sulphur dioxide test for contacts and connections*

IEC 68-2-45: 1980, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test XA and guidance: Immersion in cleaning solvents*

IEC 68-2-52: 1984, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Kb: Salt mist, cyclic (sodium chloride solution)*

IEC 68-2-58: 1989, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Td: Solderability, resistance to dissolution of metallization and to soldering heat of Surface Mounting Devices (SMD)*

IEC 270: 1981, *Partial discharge measurements*

CEI 367-1: 1982, *Noyaux pour bobines d'inductance et transformateurs destinés aux télécommunications – Première partie: Méthodes de mesure*
Amendement 1 (1984), Amendement 2 (1992)

CEI 551: 1987, *Détermination des niveaux de bruit des transformateurs et des bobines d'inductance*

CEI 617, *Symboles graphiques pour schémas*

CEI 651: 1979, *Sonomètres*
Amendement 1 (1993)

CEI 695-2, *Essais relatifs aux risques du feu – Deuxième partie: Méthodes d'essai*

CEI 695-2-2: 1991, *Essais relatifs aux risques du feu – Deuxième partie: Méthodes d'essai – Section 2: Essai au brûleur-aiguille*

CEI 695-2-4/0: 1991, *Essais relatifs aux risques du feu – Deuxième partie: Méthodes d'essai – Section 4/Feuille 0: Méthodes d'essai à la flamme de type à diffusion et de type à prémélange*

CEI 695-2-4/1: 1991, *Essais relatifs aux risques du feu – Deuxième partie: Méthodes d'essai – Section 4/Feuille 1: Flamme d'essai à prémélange de 1 kW nominal et guide*

ISO 3: 1973, *Nombres normaux – Séries de nombres normaux*

ISO 497: 1973, *Guide pour le choix des séries de nombres normaux et des séries comportant des valeurs plus arrondies de nombres normaux*

ISO 1000: 1992, *Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités*

3 Terminologie

Dans le cadre de la présente norme, les définitions suivantes sont applicables en plus de celles qui sont prévues par la CEI 50:

3.1 **composant**: Un transformateur ou une inductance.

3.2 **tension de crête**: Tension maximale instantanée définie pour le composant dans les conditions de fonctionnement.

3.3 **paramètres de la forme d'impulsion** (voir figure 1)

a) **amplitude de crête de l'impulsion, U_m** : Valeur maximale de la courbe extrapolée au sommet de l'impulsion excluant toute pointe ou chute initiale ayant une durée inférieure à 10 % de la durée de l'impulsion.

b) **durée de l'impulsion, t_d** : Intervalle de temps entre le premier et le dernier instant auquel l'amplitude de l'impulsion atteint 50 % de l'amplitude de crête de l'impulsion.

IEC 367-1: 1982, *Cores for inductors and transformers for telecommunications – Part 1: Measuring methods*
Amendment 1 (1984), Amendment 2 (1992)

IEC 551: 1987, *Determination of transformer and reactor sound levels*

IEC 617, *Graphical symbols for diagrams*

IEC 651: 1979, *Sound level meters*
Amendment 1 (1993)

IEC 695-2: *Fire hazard testing – Part 2: Test methods*

IEC 695-2-2: 1991, *Fire hazard testing – Part 2: Test methods – Section 2: Needle-flame test*

IEC 695-2-4/0: 1991, *Fire hazard testing – Part 2: Test methods – Section 4/Sheet 0: Diffusion type and pre-mixed type flame test methods*

IEC 695-2-4/1: 1991, *Fire hazard testing – Part 2: Test methods – Section 4/Sheet 1: 1 kW nominal pre-mixed test flame and guidance*

ISO 3: 1973, *Preferred numbers – Series of preferred numbers*

ISO 497: 1973, *Guide to the choice of series of preferred numbers and of series containing more rounded values of preferred numbers*

ISO 1000: 1992, *SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units*

3 Terminology

For the purpose of this standard the following definitions apply in addition to those of IEC 50:

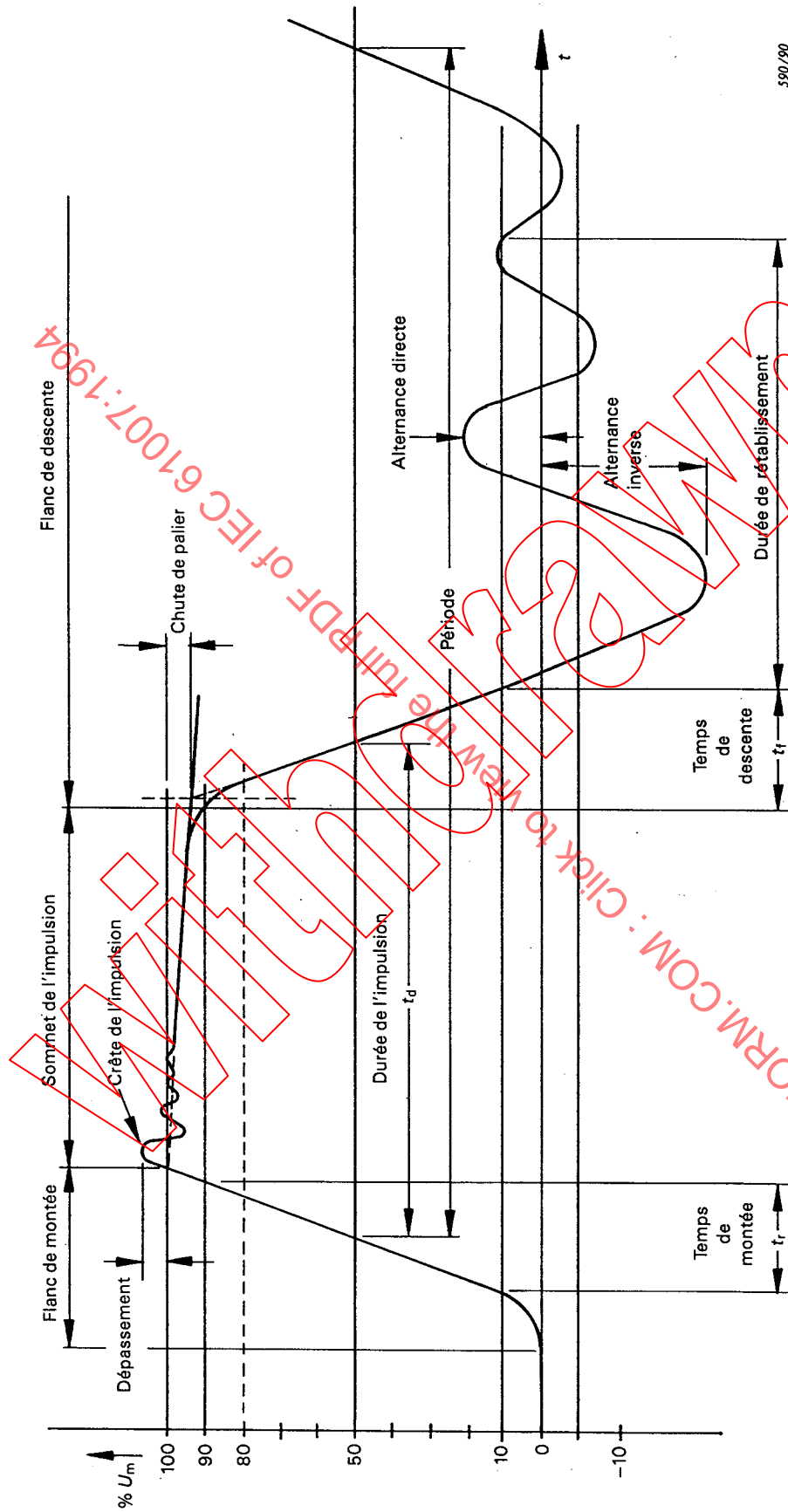
3.1 **component**: A transformer or an inductor.

3.2 **peak working voltage**: The maximum instantaneous voltage for which the winding insulation is rated under working circuit conditions.

3.3 **pulse waveform parameters** (see figure 1)

a) **peak pulse amplitude, U_m** : The maximum value of an extrapolated smooth curve through the top of the pulse, excluding any initial "spike" or "overshoot", the duration of which is less than 10 % of the pulse duration.

b) **pulse duration, t_d** : The time interval between the first and last instants at which the pulse amplitude equals 50 % of the peak pulse amplitude.



NOTE - Pour rendre plus claire l'illustration de la chute de palier, les points 80 % et 10 % ont été utilisés pour construire la ligne permettant de déterminer la frontière entre le sommet de l'impulsion et le flanc de descente.

Figure 1 - Paramètres de la forme de l'impulsion

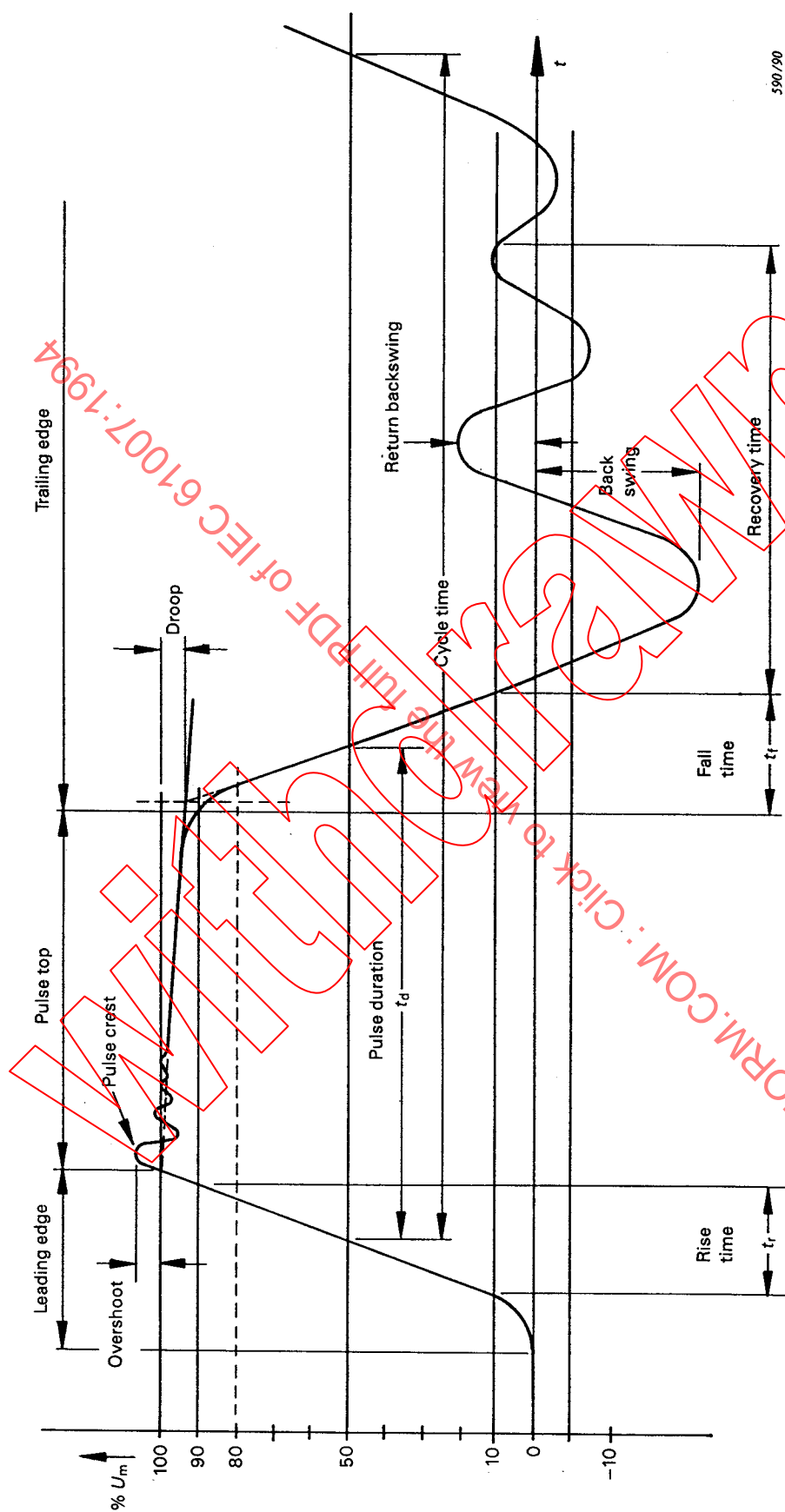


Figure 1 - Pulse waveform parameters

c) **temps de montée de l'impulsion, t_r** : Intervalle de temps entre le premier instant auquel l'impulsion atteint 10 % de la crête d'amplitude de l'impulsion, et le premier instant auquel l'amplitude de l'impulsion atteint 90 % de la crête de l'amplitude, en excluant toute partie indésirable ou erratique de la forme d'onde.

d) **temps de descente de l'impulsion, t_f** : Intervalle entre le dernier moment où l'amplitude de l'impulsion atteint 90 % de l'amplitude de crête et l'instant le plus proche auquel l'amplitude de l'impulsion atteint 10 % de l'amplitude de crête, en excluant toute portion anormale de la forme d'onde.

NOTE – Lorsque la valeur de la chute de palier approche 10 % de l'amplitude de crête, le point le plus haut définissant le temps de descente peut être remplacé par le dernier moment auquel l'impulsion de crête atteint 80 % de l'amplitude de crête.

e) **chute de palier**: C'est la différence entre l'amplitude de crête de l'impulsion et l'amplitude de la courbe extrapolée du sommet de l'impulsion, excluant toute pointe ou chute initiale, avec l'intersection de la ligne droite définissant le moment où l'impulsion décroît, exprimée en pourcentage de l'amplitude de crête de l'impulsion.

f) **crête de l'impulsion**: C'est l'amplitude maximale de l'impulsion.

g) **dépassement**: Valeur dont la crête de l'impulsion dépasse la valeur de l'amplitude de crête de l'impulsion. Ce dépassement est exprimé en pourcentage de l'amplitude de crête de l'impulsion.

h) **alternance inverse**: C'est l'amplitude maximale de l'impulsion inverse, c'est-à-dire la portion de l'impulsion après le dépassement du zéro exprimée en pourcentage de l'amplitude de crête de l'impulsion.

i) **alternance directe**: C'est l'amplitude maximale de la courbe qui succède à l'alternance inverse exprimée en pourcentage de l'amplitude de crête.

j) **durée de rétablissement**: Intervalle de temps compris entre la fin du temps de descente de l'impulsion et le dernier moment auquel l'impulsion atteint +10 % de l'amplitude de crête. Exceptionnellement cette valeur peut être inférieure à 10 %, auquel cas l'intervalle est désigné «X % de la durée de rétablissement».

k) **fréquence de répétition des impulsions (prf)**: C'est la valeur moyenne du nombre d'impulsions par unité de temps quand il est indépendant de la période pendant laquelle il est mesuré.

3.4 **facteur Q (facteur de surtension)**: Rapport entre l'énergie stockée et l'énergie dissipée, pendant un cycle, à une fréquence particulière dans un bobinage déterminé. Il est exprimé à partir des réactances et des résistances de perte soit parallèles soit séries.

3.5 **distorsion harmonique**: Racine carrée de la somme des carrés de toutes les tensions harmoniques jusqu'au septième harmonique (en excluant la valeur du fondamental) exprimée en pourcentage du fondamental, ou dans un rapport exprimé en décibels.

3.6 **température maximale d'un enroulement**: Somme de l'élévation moyenne de température de chaque enroulement du composant à pleine charge quand la stabilité thermique a été obtenue et de la température ambiante maximale spécifiée.

3.7 **produit tension-temps caractéristique**: Produit de la tension de l'amplitude de l'impulsion par le temps qui s'écoule à partir du début de l'impulsion et pendant lequel la non-linéarité du courant de magnétisation ne dépasse pas une valeur spécifiée.

3.8 **bruit acoustique de l'environnement**: Niveau de bruit mesuré au point de mesure, à l'exclusion de celui qui est produit par le composant en cours d'essai.

c) **pulse rise time, t_r** : The interval between the first instant at which the pulse amplitude reaches 10 % of the peak pulse amplitude and the first instant at which the pulse amplitude reaches 90 % of the peak pulse amplitude, excluding any unwanted or irrelevant portion of the waveform.

d) **pulse fall time, t_f** : The interval between the last instant at which the pulse amplitude reaches 90 % of the peak pulse amplitude and the next instant at which the pulse amplitude reaches 10 % of the peak pulse amplitude, excluding any unwanted or irrelevant portion of the waveform.

NOTE – Where the value of the droop approaches 10 % of the peak pulse amplitude, the upper point defining fall time may be replaced by the last instant at which the pulse amplitude reaches 80 % of the peak pulse amplitude.

e) **droop**: The difference between the peak pulse amplitude and the amplitude of the extrapolated smooth curve through the top of the pulse, excluding any initial "spike" or "overshoot", at its intersection with the straight line through the points defining the pulse fall time, expressed as a percentage of the peak pulse amplitude.

f) **pulse crest**: The maximum amplitude of the pulse.

g) **overshoot**: The amount by which the pulse crest exceeds the peak pulse amplitude. Overshoot is expressed as a percentage of the peak pulse amplitude.

h) **backswing**: The maximum amplitude of the reverse pulse, i.e. the portion of the pulse after the zero-crossing, expressed as a percentage of the peak pulse amplitude.

i) **return backswing**: The maximum amplitude of the swing that follows the backswing, expressed as a percentage of the peak pulse amplitude.

j) **recovery time**: The time interval between the end of the pulse fall time and the time at which the pulse amplitude last reaches +10 % of the peak pulse amplitude. Exceptionally, a figure less than 10 % may be used, in which case the interval is termed "the X % recovery time".

k) **pulse repetition frequency (prf)**: The average number of pulses in unit time when this is independent of the period over which it is measured.

3.4 **Q factor (quality factor)**: The ratio of the energy stored to the energy dissipated during one cycle at a particular frequency in a specified winding. It is expressed in terms of either the series or the parallel components of reactance and loss resistance.

3.5 **harmonic distortion**: The square root of the sum of the square of all harmonic voltages up to and including the seventh harmonic (excluding the fundamental) expressed as a percentage or as a ratio in decibels of the fundamental.

3.6 **maximum winding temperature**: The mean temperature rise of any winding of the component under full load, when thermal stability has been achieved, added to the specified maximum ambient temperature.

3.7 **voltage-time product rating**: The voltage pulse amplitude multiplied by the time elapsed from the start of the pulse within which the non-linearity of the magnetizing current does not exceed a specified value.

3.8 **background (acoustic) noise**: The noise measured at a measuring point with the exclusion of that produced by the component under test.

3.9 distance de mesure pour rayonnement: Distance entre l'axe du magnétomètre d'essai ou de la boussole au point le plus près de la surface du composant en cours d'essai, auquel la déviation magnétique est limitée à une valeur déterminée.

3.10 facteur de marche; facteur d'utilisation: Rapport entre la durée de l'impulsion t_d et la période.

3.11 paramètres d'un transformateur de courant

a) **charge disponible:** Propriété du circuit connecté au secondaire d'un transformateur de courant qui détermine la puissance réelle et réactive disponible aux sorties du secondaire. On l'exprime en impédance totale avec des composants résistifs et réactifs ou en volt-ampères totaux et facteur de puissance aux valeurs spécifiées du courant et de la fréquence.

b) **rapport de transformation du courant, k :** Rapport de la valeur efficace du courant dans le primaire à la valeur efficace du courant dans le secondaire dans des conditions spécifiées.

c) **angle de phase:** Ecart angulaire des vecteurs représentant respectivement le courant dans le primaire et le secondaire d'un transformateur. L'angle de phase est positif si le courant du secondaire est en avance sur le courant primaire.

d) **erreur du rapport (de transformation):** Différence entre le rapport de transformation du courant mesuré k et sa valeur nominale k_n divisée par la valeur mesurée exprimée en pourcentage:

$$\text{erreur du rapport} = \frac{k_n - k}{k} \times 100 \text{ (pour cent)}$$

3.12 écran électrostatique: Ecran conducteur inséré entre les enroulements qui, lorsqu'il est relié à la terre, affaiblit considérablement le transfert, par la capacité entre enroulements, de signaux non recherchés d'un enroulement à un autre.

3.13 écran de protection: Ecran conducteur inséré entre les enroulements qui, lorsqu'il est relié à la terre, empêche efficacement les courants de défaut de s'écouler entre ces enroulements, en cas de défaillance de l'isolement.

3.14 polarité (applicable aux enroulements monophasés): Propriété d'un enroulement monophasé telle qu'une borne sur un enroulement a la même polarité qu'une borne sur un autre enroulement si, lorsque les autres extrémités des enroulements sont reliées pour former un point commun et lorsque le transformateur ou l'inductance est alimenté en tension sinusoïdale, la tension induite apparaissant entre chacune des bornes et le point commun augmente en même temps positivement après leur passage par zéro.

3.15 enroulement uniformément isolé: Enroulement dans lequel l'isolement par rapport à la terre est, en tout point, conçu pour résister à l'épreuve de tension d'une valeur appropriée à l'isolement de l'extrémité haute tension.

3.16 enroulement à gradient d'isolement: Enroulement dans lequel l'isolement par rapport à la terre est échelonné d'une quantité à l'extrémité haute tension à une quantité plus petite à l'extrémité basse tension.

NOTE - Il convient qu'un tel enroulement résiste à l'épreuve de tension d'une valeur appropriée à l'isolement de l'extrémité basse tension.

3.9 compass safe distance: The distance from the pivot of the test magnetometer or compass to the nearest point on the surface of the component under test, at which the magnetic deviation is limited to a stated value.

3.10 duty ratio; duty factor: The ratio of pulse duration t_d to the cycle time.

3.11 current transformer parameters

a) **burden:** That property of the circuit connected to the secondary winding of a current transformer which determines the real and reactive power at the secondary terminals. It is expressed as total impedance with effective resistive and reactive components or as the total volt-amperes and power factor at the specified values of current and frequency.

b) **current transformation ratio, k :** The ratio of the r.m.s. value of the primary current to the r.m.s. value of the secondary current under specified conditions.

c) **phase angle:** The angular displacement between the vectors representing the primary and secondary currents of the transformer. The phase angle is positive when the secondary current leads the primary current.

d) **ratio error:** The difference between the measured current transformation ratio k and its nominal value k_n , divided by the measured value, and expressed as a percentage.

$$\text{ratio error} = \frac{k_n - k}{k} \times 100 \text{ (per cent)}$$

3.12 electrostatic screen: A conducting screen inserted between windings that, when it is connected to earth, considerably reduces the transference of unwanted signals from one winding to the other via interwinding capacitance.

3.13 safety screen: A conducting screen inserted between windings that, when it is connected to earth, effectively prevents fault currents flowing between those windings, in the event of an insulation failure.

3.14 polarity (applicable to single-phase windings): A property of a single-phase winding such that a terminal on one winding has the same polarity as a terminal on another winding if, when the other ends of the windings are connected to form a common terminal and the transformer/inductor is energized with a sinusoidal voltage, the induced voltage appearing between each of the two terminals and the common terminal is rising positively through zero at the same instant of time.

3.15 uniformly-insulated winding: A winding in which the insulation to earth is, at all points, designed to withstand an electric strength test of a value appropriate to the insulation of the high-voltage end.

3.16 graded-insulated winding: A winding in which insulation to earth is graded from the amount at the high-voltage end to a smaller amount at the low-voltage end.

NOTE – Such a winding should withstand an electric strength test of a value appropriate to the insulation of the low-voltage end.

4 Procédures d'essai

4.1 Conditions d'essai et de mesure

Sauf spécification contraire, tous les essais doivent être faits dans des conditions atmosphériques normales comme celles qui sont spécifiées dans la CEI 68-1. Lorsqu'il y a une condition particulière fixant une température de stabilisation du composant, celle-ci doit être conforme à 4.8 de la CEI 68-1.

Sauf indications contraires prévues dans les spécifications particulières, tous les tensions et courants sont sinusoïdaux. Les valeurs sont prises en valeur efficace et les alimentations polyphasées sont supposées équilibrées.

L'information qui doit être fournie pour compléter les descriptions des méthodes d'essai de cet article doit être spécifiée dans la spécification particulière du composant. La spécification particulière doit en outre spécifier le montage d'essai à utiliser pour un composant prévu pour une application à des fréquences suffisamment hautes pour que la longueur du câblage d'essai ait alors de l'importance.

4.1.1 Précision des mesures

Les limites fixées dans les spécifications particulières sont impératives. Les valeurs de tolérance applicables au système de mesures utilisé doivent être prises en compte quand les mesures servent à vérifier les exigences de la spécification. Lorsque les tolérances, compte tenu des conditions fixées ou des erreurs d'instrument, ont été prescrites, elles doivent être considérées comme des conditions minimales supplémentaires.

4.1.2 Méthodes d'essai équivalentes

Les méthodes d'essai et de mesures données dans les spécifications de référence ne doivent pas être considérées comme les seules méthodes à utiliser. Il existe sur le marché des équipements d'essais et des ensembles d'essais automatiques qui peuvent être également utilisés. Cependant il devra être prouvé au client ou à l'autorité chargée du contrôle (note 1) que les méthodes d'essai de substitution utilisées donnent des résultats identiques (note 2) à ceux que l'on obtiendrait avec les méthodes normalisées. En cas de litige, les méthodes spécifiées seront les seules qui seront utilisées comme base de référence. Les méthodes de substitution ne sont pas décrites dans les spécifications particulières.

NOTES

- 1 Par exemple l'organisme national de surveillance dans le cadre du contrôle de qualité de la CEI.
- 2 Par «équivalentes» il faut comprendre que les valeurs d'une caractéristique établies par une autre méthode et qui seraient conformes aux exigences requises pour cette autre méthode tomberaient dans les limites spécifiées si elles étaient établies par la méthode spécifiée.

4.2 Contrôle visuel

Le contrôle visuel est accompli dans les conditions normales d'éclairage de l'atelier sans apport d'aide visuelle complémentaire. Les conditions, la présentation, le marquage et la finition doivent être satisfaisants.

NOTE – Si un éclairage spécial ou un apport d'aide visuelle complémentaire est nécessaire pour l'acceptation de composants particuliers, par exemple de très petits composants, cela peut être spécifié comme essai complémentaire dans la spécification particulière.

4 Test procedures

4.1 Test and measurement conditions

Unless otherwise specified all tests shall be carried out under standard atmospheric conditions for testing as specified in IEC 68-1. Where there is a requirement for components to attain temperature stability this shall be in accordance with 4.8 of IEC 68-1.

Unless otherwise stated in the detail specification, all voltages and currents shall be sinusoidal; values shall be taken as r.m.s. and polyphase supplies shall be assumed to be balanced.

The "information to be stated" that is required to complete the descriptions of test methods in this clause shall be specified in the relevant detail specification for the component. The detail specification shall also specify the test fixture to be used in association with a component, where this is intended for use at frequencies high enough for the length of test leads to become significant.

4.1.1 Measurement uncertainty

The limits quoted in detail specifications shall be absolute. The tolerance values applying to the actual measurement system shall be taken into account when the measurements are assessed against specification limits. Where tolerances in respect of set conditions or instrument error have been prescribed these shall be regarded as additional minimum requirements.

4.1.2 Alternative test methods

The test and measurement methods given in the relevant specification shall not be regarded as the only methods to be used. Special test equipment and automatic test sets are available, which may also be used. However, the tester shall satisfy the customer or relevant authority (see Note 1) that any alternative methods which he may use will give results equivalent (see Note 2) to those obtained by standard methods. In the case of dispute, for referee and reference purposes the specified methods only shall be used. Alternative test methods shall not be shown in detail specifications.

NOTES

- 1 Such as a National Supervising Inspectorate within the IECQ scheme.
- 2 By "equivalent" it is meant that the value of the characteristic established by such other method and deemed acceptable in accordance with the limits ascribed to such other method will fall within the specified limits when measured by the specified method.

4.2 Visual inspection

Visual inspection shall be performed under normal factory lighting without visual aids. The condition, workmanship, marking and finish shall be satisfactory.

NOTE – If special lighting and/or visual aids are necessary for the acceptance of particular components (e.g. very small components), these may be specified as additional tests in the relevant detail specification.

4.2.1 *Positionnement de l'écran de protection*

NOTE – Parfois le terme «écran d'isolation» est utilisé à la place d'«écran de protection».

Objet: Déterminer le positionnement d'un écran par rapport aux bobinages adjacents.

Méthode: L'écran de protection mis en place est contrôlé avant d'être masqué par des bobinages complémentaires. L'écran de protection doit:

- a) couvrir totalement l'enroulement autour duquel il est enroulé, de telle manière que la fin de la bande recouvre le début de la bande d'une quantité au moins égale à celle qui est prescrite dans la spécification particulière;
- b) être suffisamment isolant pour empêcher un court-circuit entre les enroulements;
- c) avoir des bords dépassant suffisamment le bobinage à protéger pour éviter des contacts directs entre les enroulements.

NOTE – Les écrans mis en place autour des bobinages des transformateurs toroïdaux peuvent être constitués par un nombre de tours de bande conductrice, à condition que chaque tour recouvre le tour adjacent par au minimum 5 % de la largeur de la bande.

Information à préciser:

- recouvrement minimal.

4.2.2 *Qualité des soudures*

NOTE – Une bonne soudure fournit un excellent contact entre les parties soudées et une bonne tenue mécanique. Des exemples de bonne soudure sont donnés dans la figure 2. La figure 3 illustre des soudures défectueuses.

Objet: Déterminer la qualité de toutes les soudures.

Méthode: Toutes les soudures doivent être inspectées pour s'assurer que les exigences suivantes sont remplies:

Exigences: Les joints de soudure doivent:

- a) présenter un bon étamage en mettant en évidence le bon écoulement de la soudure avec un bon mouillage de la connexion;
- b) être lisses, sans aspérités;
- c) être brillants et clairs;
- d) ne pas présenter de criques;
- e) avoir une surface concave et le contour du fil doit être visible sous la surface de la soudure;
- f) ne pas avoir bougé durant l'opération de soudage (de tels joints présentent une «pelure d'orange» comme le montre la figure 3a);
- g) ne pas être «secs» (c'est-à-dire ne pas présenter une ligne distincte là où les filets de soudure joignent le fil ou ne pas avoir un angle vif entre la soudure et le fil (voir figure 3b));
- h) être enroulés sur la borne de telle manière que cela ne laisse pas de contraintes résiduelles (voir figure 3c);
- i) ne pas présenter un «méchage» (c'est-à-dire que le fil de soudure ne doit pas être surchauffé, laissant le mouvement de la soudure sur les fils multibrins (voir figure 3d)).

4.2.1 *Safety screen position*

NOTE – Sometimes the term "isolating screen" is used as an alternative to "safety screen".

Purpose: To determine the position of a safety screen in relation to adjacent windings.

Procedure: The fitted and positioned safety screen shall be inspected before being obscured by subsequent windings. The safety screen shall:

- a) totally cover the winding around which it is wrapped such that the "finish" end overlaps the "start" end by no less than the amount specified in the detail specification;
- b) be adequately insulated so as not to comprise a short-circuited winding;
- c) have edges extending sufficiently along the winding being screened to prevent direct contact between windings.

NOTE – Screens fitted to toroidal transformers may consist of a number of turns of conductive strip provided that each turn overlaps the adjacent turn by not less than 5 % of the strip width.

Information to be stated:

- minimum overlap.

4.2.2 *Quality of solder joints*

NOTE – A good solder joint is one that has excellent electrical contact between the parts joined and good mechanical strength. Examples of good solder joints are shown in figure 2. Figure 3 illustrates defective joints.

Purpose: To determine the quality of all solder joints.

Procedure: All solder joints shall be inspected to ensure that the following requirements are complied with:

Requirements: Soldered joints shall:

- a) exhibit good tinning as evidenced by the free flowing of solder with wetting of the termination;
- b) be smooth with no spikes;
- c) be bright and shiny;
- d) be without rough patches;
- e) shall have a concave surface and the outline of the wire shall be visible under the surface of the solder;
- f) not have been moved during soldering (such joints exhibit an "orange peel" effect, as shown in figure 3a);
- g) not be "dry" (that is, shall not exhibit a distinct line where the solder fillet joins the wire or have a high contact angle between the solder and the wire (see figure 3b));
- h) be wired at terminals in such a way as to leave no residual stress (see figure 3c);
- i) not exhibit "wicking" (that is, the joining wire shall not be overheated, leading to the movement of solder into multi-stranded wires (see figure 3d)).

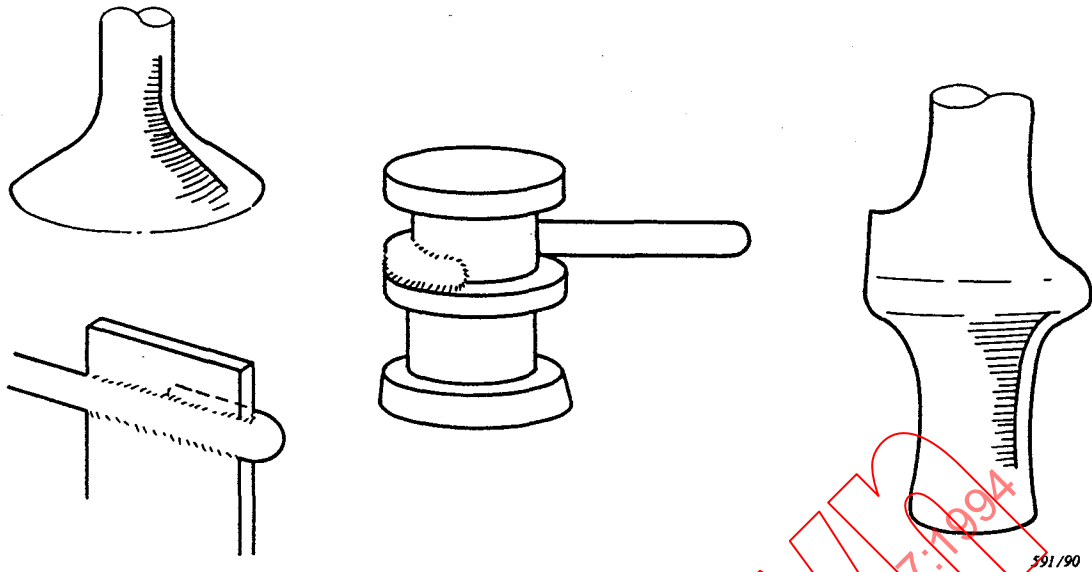


Figure 2 – Exemples de bonnes soudures

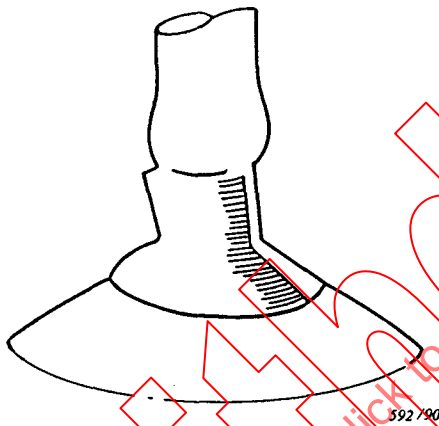


Figure 3a - Soudure déplacée

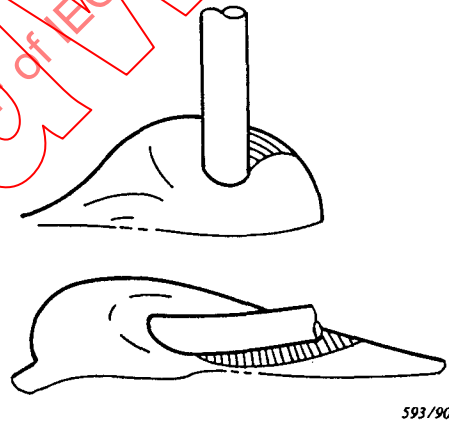


Figure 3b - Soudures sèches

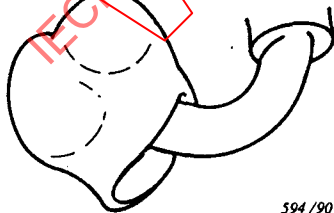


Figure 3c - Soudure mécaniquement contrainte

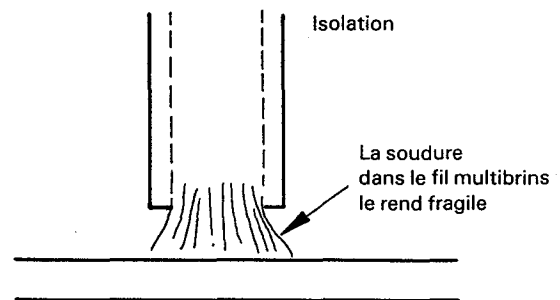


Figure 3d - Méchage

Figure 3 – Exemples de mauvaises soudures

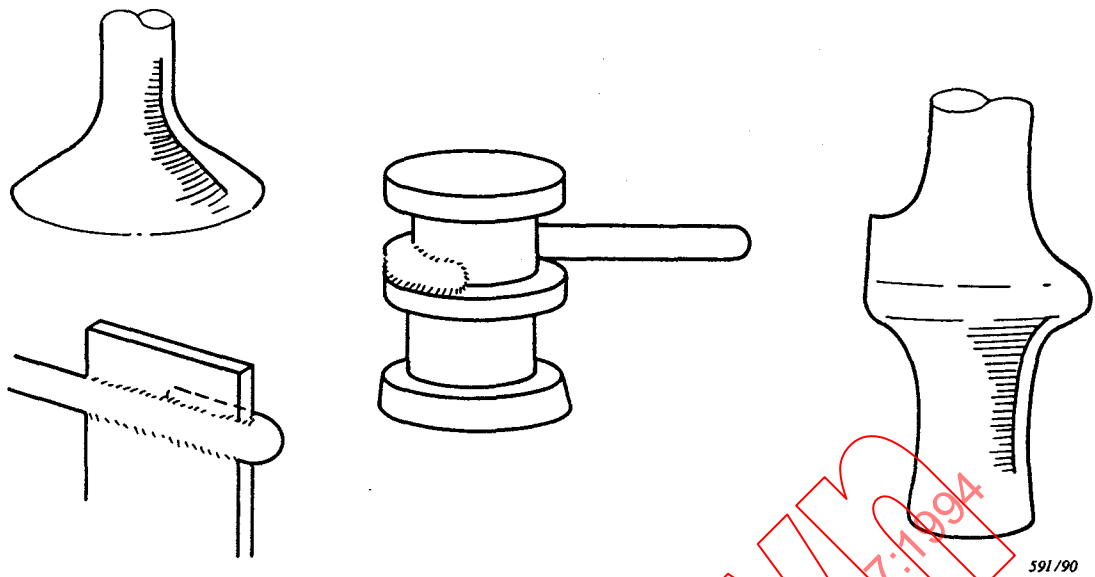


Figure 2 – Examples of good solder joints

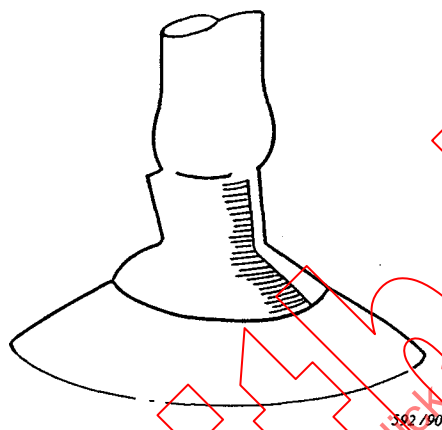


Figure 3a - Moved joint

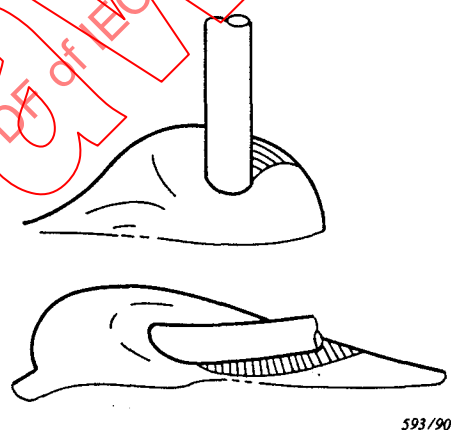


Figure 3b - Dry joints

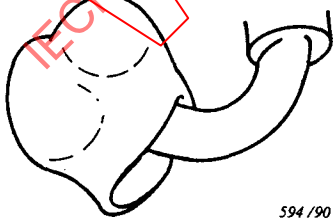


Figure 3c - Mechanically stressed joint

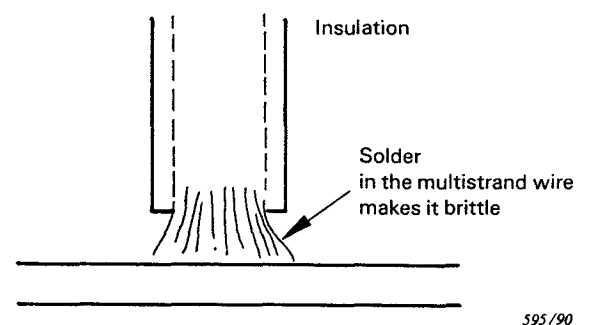


Figure 3d - Wicking

Figure 3 – Examples of defective joints

4.3 Vérification des dimensions

La conformité des dimensions à la spécification particulière est vérifiée.

4.4 Procédures des essais électriques

4.4.1 Résistance des enroulements

4.4.1.1 Résistance des enroulements en courant continu

Objet: Déterminer la valeur de la résistance en courant continu de chaque enroulement, ou des enroulements entre les connexions spécifiées.

Procédure: La résistance est mesurée par une méthode adaptée.

Lorsque cela est requis par les spécifications particulières, la température ambiante θ (en °C) est mesurée et le résultat de la résistance mesurée R_m (en Ω) est corrigée à la valeur correspondante de 20 °C, R_{20} (en Ω) au moyen de la formule suivante:

$$R_{20} = \frac{k + 20}{k + \theta} R_m$$

où k est une constante relative au coefficient thermique de résistivité. Pour les besoins de cette norme, la valeur du cuivre doit être prise égale à 234,5 et l'aluminium à 228,1.

NOTE – Pour des raisons de sécurité, il y a lieu de tenir compte des enroulements qui, en court-circuit, peuvent engendrer des tensions élevées lors de l'interruption du courant.

Informations à préciser:

- extrémités entre lesquelles la mesure doit être faite;
- si le résultat de la mesure doit être corrigé pour le ramener à 20 °C, la valeur du coefficient à utiliser si le matériau est autre que du cuivre ou de l'aluminium.

NOTES

- La méthode choisie devra être déterminée en fonction de la facilité d'exécution de l'essai, et en fonction de la précision demandée. La précision de l'équipement devra être dix fois meilleure que la précision exigée dans l'essai.
- Le courant de mesure ne devra pas être élevé au point de provoquer un autoéchauffement ou pour avoir un effet magnétique significatif sur le composant.

4.4.1.2 Continuité

Objet: Vérifier la continuité d'un enroulement spécifié.

Méthode: La continuité est établie en utilisant une source adaptée en courant continu ou en courant alternatif et un détecteur adapté.

Information à préciser:

- enroulement qui doit être essayé.

4.3 *Dimensioning and gauging procedure*

The dimensions shall be verified as being in accordance with the relevant specification.

4.4 *Electrical test procedures*

4.4.1 *Winding resistance*

4.4.1.1 *D.C. winding resistance*

Purpose: To determine the d.c. resistance of a winding or windings between specified terminations.

Procedure: The resistance shall be measured by a suitable method.

Where required by the detail specification, the ambient temperature θ (in °C) shall be measured and the result of the resistance measurement R_m (in Ω) corrected to the corresponding value at 20 °C, R_{20} (in Ω) by means of the following formula:

$$R_{20} = \frac{k + 20}{k + \theta} R_m$$

where k is a constant related to the thermal coefficient of resistivity. For the purposes of this standard, the value for copper shall be taken as 234,5 and for aluminium as 228,1.

NOTE – For safety reasons, consideration should be given to short-circuiting windings capable of producing high voltages at current interruption.

Information to be stated:

- a) terminations between which the measurement is to be made;
- b) whether the result of measurement should be corrected to 20 °C, and if so, the value of k to be used for materials other than copper or aluminium.

NOTES

- 1 The selected method should be determined by the ease of operating the test and the accuracy required. The accuracy of the equipment should be at least ten times better than the accuracy required of the test.
- 2 The measuring current should not be so large as to cause self-heating or to have a significant magnetizing effect on the component.

4.4.1.2 *Continuity*

Purpose: To verify the continuity of a specified winding.

Procedure: Continuity shall be established using a suitable d.c. or a.c. voltage or current source, and a suitable detector.

Information to be stated:

- winding to be tested.

NOTES

- 1 Le courant devra être suffisamment faible pour ne pas avoir d'effet magnétique significatif sur le composant.
- 2 Des précautions seront prises lors des essais d'un enroulement à haute inductance car une haute tension peut être induite.
- 3 Lorsqu'il y a des conducteurs en parallèle, comme dans le cas d'enroulements multiples ou de composants polyphasés, une vérification de la résistance en courant continu peut être nécessaire pour s'assurer que le conducteur dont on vérifie la continuité n'est pas influencé par des conducteurs shuntés.

4.4.2 Essais d'isolement

4.4.2.1 Epreuve de tension

Objet: S'assurer que l'isolement des enroulements uniformément isolés et l'isolement de l'extrémité basse tension des enroulements à gradient d'isolement sont conformes.

NOTES

- 1 Cet essai ne convient pas à l'isolement de l'extrémité haute tension des enroulements à gradient d'isolement ou conçus pour avoir un point mis à la terre. L'isolement de l'extrémité haute tension de tels enroulements ne peut être essayé que par l'application d'un essai de tension induite approprié (voir point b) des **Conditions spéciales d'essai** de 4.4.2.2).
- 2 Dans certains cas, il peut être approprié de démontrer la conformité de l'isolement de l'extrémité basse tension des enroulements à gradient d'isolement pendant l'essai de tension induite (voir point b) des **Conditions spéciales d'essai** de 4.4.2.2).

Procédure: Une tension d'essai dont la valeur est choisie dans le tableau ci-dessous, sauf spécification contraire, est appliquée entre deux éléments isolés du composant. Tous les enroulements sont court-circuités. Les enroulements et les écrans d'un côté de l'isolation sont connectés au châssis, au noyau et à la terre alors que les enroulements et les écrans de l'autre côté sont connectés ensemble.

Tensions d'essai

Tension de crête V_{pk}	Valeur efficace de la tension d'essai (45 – 65 Hz) V_{eff}	Valeur continue de la tension d'essai V
<25	50	71
>25 à 50	100	141
>50 à 100	300	424
>100 à 175	500	707
>175 à 700	2,8 x tension de crête	4 x tension de crête
>700	1,4 x tension de crête + 1 000	2 x tension de crête + 1 400

La tension d'essai doit être augmentée à une vitesse convenable n'excédant pas 2 kV par seconde, à partir de zéro jusqu'à la valeur spécifiée et maintenue à cette valeur pendant le temps spécifié (sauf si un claquage se produit), puis ramenée à zéro à la même vitesse.

NOTES

- 1 The current should not be so large as to have a significant magnetizing effect on the component.
- 2 Care should be taken in testing a winding with a high inductance value as a high voltage may be generated.
- 3 Where there are parallel paths, as with multiple windings or in polyphase components, a d.c. resistance check may be necessary to ensure that the path under examination is not being influenced by shunt paths.

4.4.2 *Insulation tests*4.4.2.1 *Electric strength test*

Purpose: To ensure that the insulation of uniformly-insulated windings and the low-voltage end insulation of graded-insulated windings are adequate.

NOTES

- 1 This test is not suitable for the high-voltage end insulation of windings having graded insulation or designed to have one point earthed*. The high-voltage end insulation of such windings can be tested only by the application of an appropriate induced voltage test (see item b) of special conditions of test of 4.4.2.2).
- 2 In certain cases it may be appropriate to demonstrate the adequacy of the low-voltage end insulation of graded-insulated windings during the induced voltage test (see item b) of special conditions of test of 4.4.2.2).

Procedure: A test voltage whose value is selected from the table below, unless otherwise specified, shall be applied between specified pairs of isolated elements of the component. All windings shall be short-circuited. Windings and screens on one side of the insulation system shall be connected to frame, core and earth while windings and screens on the other side shall be connected together.

Electric strength test voltages

Peak working voltage V_{pk}	A.C. test voltage, 45 - 65 Hz (r.m.s.) $V_{r.m.s.}$	D.C. test voltage V
<25	50	71
>25 to 50	100	141
>50 to 100	300	424
>100 to 175	500	707
>175 to 700	2,8 x peak working voltage 1,4 x peak working voltage + 1 000	4 x peak working voltage 2 x peak working voltage + 1 400

The test voltage shall be increased at a convenient rate but not exceeding 2 kV per second, from zero to the specified value, maintained at this value for the specified time (unless breakdown occurs), then decreased to zero at the same rate.

* In the USA, "ground" is used in place of "earth" and "grounded" in place of "earthed".

Pour les composants remplis d'isolants liquides, excepté ceux qui sont conçus pour fonctionner dans un seul plan et qui sont ainsi repérés, environ la moitié de l'échantillonnage à vérifier est essayé avec ses bornes sur le dessus et l'autre moitié avec ses bornes sur le dessous.

Si des conditions d'environnement particulières sont prévues pour cet essai, le composant doit être placé pendant un minimum de 6 h sauf spécification contraire dans les conditions spécifiées. (Se reporter à la CEI 68 pour des instructions concernant les essais d'environnement.)

Il ne doit y avoir ni échauffement, ni claquage, ni détérioration. L'ionisation ne doit pas être considérée comme un critère de claquage. Le courant de fuite ne doit pas dépasser la valeur spécifiée.

Informations à préciser:

- a) extrémités entre lesquelles l'essai doit être fait;
- b) tension d'essai (pour un enroulement à gradient d'isolement, les valeurs doivent être données pour les deux extrémités de l'enroulement);
- c) fréquence de la tension alternative d'essai (si elle est différente de celle qui est indiquée dans le tableau);
- d) durée de l'essai;
- e) courant de fuite maximal s'il est spécifié.

NOTES

3 Si un claquage apparaît pendant l'essai, il peut, dans un premier temps, être détecté par un accroissement sporadique et intermittent du courant de fuite, suivi par une augmentation significative jusqu'à une valeur plus élevée constante qui, dans bon nombre de cas d'essais de puissance, est accompagnée d'une chute partielle ou totale de la tension. Ce type de claquage peut être causé par un claquage partiel des parties ionisées ou par une isolation détériorée, qui se traduit alors par une destruction complète sous forme d'un arc de surface ou d'une perforation.

4 Les tensions utilisées pour l'essai peuvent être dangereuses. Une attention particulière sera prise pour réaliser cet essai.

4.4.2.2 Essai de tension induite

Objet: Vérifier la conformité de l'isolation des bobinages et des isolants internes des transformateurs et des inductances, et vérifier la conformité de l'isolement de l'extrémité haute tension des enroulements à gradient d'isolement.

Conditions spéciales d'essai

Les conditions spéciales suivantes sont applicables.

- a) Les enroulements à isolement uniforme sont normalement essayés suivant les **Méthodes** 1, 2 ou 3, selon le cas. Tout point d'un enroulement peut être mis à la terre pendant l'essai, comme spécifié.
- b) Les enroulements à gradient d'isolement sont normalement essayés suivant les **Méthodes** 1, 2 ou 3, selon le cas. Un point d'un tel enroulement peut être mis à la terre ou élevé à une tension spécifiée supérieure à celle de la terre, pendant l'essai. La tension induite doit être telle que, lorsqu'elle est additionnée vectoriellement à toute tension appliquée, l'extrémité haute tension de l'enroulement est élevée à la tension de crête appropriée donnée à l'alinéa **Méthode** de 4.4.2.1.

For fluid-filled components, except for those designed for operation in one plane only and so marked, approximately half the test sample shall be tested with terminals uppermost and half with the terminals underneath.

If a specified environmental conditioning is required for this test the component shall be held for a minimum of 6 h unless otherwise specified in the specified conditions. (See IEC 68 for information on environmental testing.)

There shall be no evidence of heating, breakdown or deterioration. Ionization shall not be regarded as a criterion of breakdown. The leakage current shall not exceed the specified value.

Information to be stated:

- a) terminations between which the test is to be made;
- b) test voltage (for a winding having graded-insulation, values shall be given for both ends of the winding);
- c) frequency of a.c. test voltage (if different from the values shown in the table);
- d) test duration;
- e) maximum leakage current, if specified.

NOTES

3 If breakdown occurs during the test it can at first be detected by sporadic and intermittent increases in leakage current followed by a significant increase to a constant higher value which, on many electric strength test sets, is accompanied by a partial or complete collapse of the voltage. This type of breakdown may be caused by partial breakdown in ionized voids and weakened insulation which then avalanches to complete breakdown in the form of arc-over or arc-through.

4 Electric strength test voltages may be hazardous. Extreme care should be taken in performing this test.

4.4.2.2 Induced voltage test

Purpose: To verify the adequacy of inter-turn and inter-layer insulation of transformers and inductors, and to verify the adequacy of the high-voltage end insulation of windings having graded-insulation.

Special conditions of test

The following special conditions apply:

- a) Uniformly insulated windings are normally tested as in **Procedure 1, 2 or 3**, as appropriate. Any point of a winding may be earthed during the test as specified.
- b) Windings having graded-insulation are normally tested as in **Procedure 1, 2 or 3**, as appropriate. A point on such a winding may be earthed or raised to a specified voltage above earth during the test. The induced voltage shall be such that, when added vectorially to any applied voltage, the high-voltage end of the winding is raised to the appropriate peak test voltage given in 4.4.2.1, **Procedure**.

Si la tension spécifiée, supérieure à celle de la terre est alternative, elle doit être alors de même fréquence que celle de la tension induite.

NOTE 1 – En général, pendant l'exécution de l'essai de tension induite, il convient de ne permettre à aucun enroulement de «flotter», c'est-à-dire d'avoir deux extrémités non reliées.

Méthode 1: Applicable aux transformateurs et inductances prévus pour l'alimentation par ondes sinusoïdales.

Une tension spécifiée égale à au moins deux fois la tension assignée d'alimentation et à une fréquence égale à au moins deux fois la plus basse des fréquences assignées est appliquée aux bornes de l'enroulement spécifié. La durée de son application et la manière dont elle est appliquée doivent être comme celles qui sont spécifiées dans la spécification particulière.

Méthode 2: Applicable aux transformateurs et inductances prévus pour l'alimentation par impulsions.

Une tension dont l'amplitude des impulsions est égale à au moins deux fois l'amplitude nominale de l'impulsion est appliquée aux bornes de l'enroulement. Elle est appliquée à une fréquence spécifiée de répétition des impulsions égale à au moins 25 % de la fréquence nominale maximale de répétition des impulsions; la durée spécifiée de l'impulsion est égale à au moins 25 % et normalement* au plus à 50 % de la durée nominale maximale de l'impulsion. La durée de son application et la manière dont elle est appliquée doivent être comme celles qui sont spécifiées dans la spécification particulière.

Méthode 3: Applicable aux transformateurs et inductances prévus pour l'alimentation par ondes non sinusoïdales telles que celles qui sont utilisés dans les applications de puissance fonctionnant avec des semi-conducteurs en mode commuté.

Une tension spécifiée de forme sinusoïdale dont la valeur de crête est égale à au moins deux fois la valeur maximale nominale de crête à la tension d'entrée et à une fréquence spécifiée, choisie comme indiqué ci-après, est appliquée aux bornes de l'enroulement spécifié. La durée de son application et la manière dont elle est appliquée doivent être comme celles qui sont spécifiées dans la spécification particulière.

La fréquence à spécifier doit être telle que sa période soit normalement** moins grande que la plus petite demi-période effective de la forme d'onde de fonctionnement pour laquelle le composant est prévu, par exemple dans le cas de largeur d'impulsion dont les formes sont modulées symétriquement ou asymétriquement la demi-période effective doit être prise comme étant le temps de marche effectif minimal de l'interrupteur électronique.

Durée d'application de la tension pour les méthodes 1, 2 et 3

La durée d'application de la tension doit être spécifiée selon a) ou b):

a) La tension d'essai est appliquée en croissant du tiers de la tension spécifiée à sa

* Des durées d'impulsion supérieures à 50 % de la durée maximale assignée peuvent être spécifiées à condition qu'il soit démontré que cela n'entraîne pas de saturation du noyau ou d'autres anomalies.

** Une fréquence d'essai plus basse peut être spécifiée à condition qu'il soit démontré que cela n'entraîne pas de saturation du noyau ou d'autres anomalies.

If the specified voltage above earth is alternating, then it shall be of the same frequency as the induced voltage.

NOTE 1 – In general, during the execution of the induced voltage test, no winding should be permitted to "float", i.e. to remain unconnected at both ends.

Procedure 1: Applicable to transformers and inductors intended for energizing by sinusoidal waveforms.

A specified test voltage of not less than twice the rated supply voltage at a frequency of not less than twice the lowest rated frequency shall be applied across the specified winding. The duration and manner of application shall be as specified in the detail specification.

Procedure 2: Applicable to transformers and inductors intended for energizing by pulse waveforms.

Specified test voltage pulses of amplitude not less than twice the rated pulse amplitude, at a specified pulse repetition frequency of not less than 25 % of the maximum rated pulse repetition frequency and with a specified pulse duration not less than 25 % of the rated maximum pulse duration and normally* not greater than 50 % of the rated pulse duration shall be applied across the winding. The duration and manner of application shall be as specified in the detail specification.

Procedure 3: Applicable to transformers and inductors intended for energizing by non-sinusoidal periodic waveforms such as those in power supplies operating with semi-conductors in a switched mode.

A specified sinusoidal test voltage of peak value not less than twice the maximum rated peak value for the input voltage waveform and at a specified frequency, derived as follows, shall be applied across the specified winding. The duration and manner of application shall be as specified in the detail specification.

The test frequency shall be such that its cyclic period is normally** not greater than the effective shortest half-cycle period of the operative waveform for which the component is intended e.g. in the case of pulse width modulated symmetrical or asymmetrical waveforms the effective half-cycle shall be taken to be the effective minimum on-time of the electronic switch.

Duration for application of test voltage in Procedures 1, 2 and 3

The duration of application of the test voltage shall be specified as one of the following:

- a) The applied voltage shall be raised from one-third of the specified voltage to the full

* Pulse durations greater than 50 % of the rated maximum value may be specified provided that core flux saturation or other abnormalities are shown not to be incurred thereby.

** A lower test frequency may be specified provided that core flux saturation or other abnormalities are shown not to be incurred thereby.

pleine valeur et maintenue à cette valeur pendant $60\text{ s} \pm 5\text{ s}$ puis ramenée au tiers de la valeur spécifiée et enfin à 0.

b) 5 s à 10 s (valeur à indiquer).

Exigences:

Il ne doit y avoir ni échauffement, ni claquage, ni détérioration. L'ionisation ne doit pas être considérée comme un critère de claquage.

Informations à préciser dans la spécification particulière:

- a) tension d'essai (efficace ou de crête, selon le cas);
- b) enroulements auxquels la tension est appliquée (voir note 2);
- c) point de l'enroulement prévu pour être connecté à un potentiel connu et valeur de ce potentiel (si applicable);
- d) durée d'application de la tension d'essai;
- e) fréquence de l'essai ou fréquence de répétition des impulsions (selon le cas);
- f) durée de l'impulsion (applicable à la méthode 2).

NOTE 2 – La source fournissant la tension d'essai peut être connectée à d'autres enroulements qu'à l'enroulement normal d'entrée afin d'obtenir les tensions nécessaires.

4.4.2.3 Résistance d'isolement

Objet: Mesurer la résistance de l'isolement entre les différentes parties d'un composant.

Méthode: Sauf spécification contraire, la résistance d'isolement doit être mesurée avec une tension continue de:

100 V $\pm$ 15 V pour des enroulements avec une tension de crête inférieure à 500 V, ou
500 V $\pm$ 50 V pour des enroulements avec une tension de crête supérieure ou égale à 500 V.

La tension d'essai est appliquée jusqu'à ce qu'une valeur stabilisée soit obtenue ou, à défaut, pendant $60\text{ s} \pm 5\text{ s}$.

Si des conditions d'environnement spécifique sont requises, le composant doit être maintenu dans les conditions spécifiées pendant un minimum de 6 h, sauf spécification contraire. (Voir la CEI 68 pour les renseignements concernant les essais d'environnement.)

Informations à préciser:

- a) extrémités entre lesquelles la mesure doit être faite;
- b) la tension de crête de travail de chaque enroulement;
- c) les conditions d'environnement.

value which shall then be maintained for $60\text{ s} \pm 5\text{ s}$ before reducing the voltage to one-third of its value and hence to zero.

b) 5 s to 10 s (value to be stated).

Requirements:

There shall be no evidence of heating, breakdown or deterioration. Ionization shall not be regarded as a criterion of breakdown.

Information to be stated in the detail specification:

- a) the test voltage (r.m.s. or peak as applicable);
- b) the winding(s) to be energized (see note 2);
- c) the winding point intended to be connected to a known potential and the value of this potential (if applicable);
- d) the duration of application of test voltage;
- e) the test frequency or pulse repetition frequency (as applicable);
- f) the pulse duration (applicable to Procedure 2).

NOTE 2 - A source of test voltage may be connected to windings other than the normal input winding in order to obtain the necessary voltages.

4.4.2.3 Insulation resistance

Purpose: To measure the resistance of the insulation between the various parts of the component.

Procedure: Unless otherwise specified the insulation resistance shall be measured with a d.c. voltage of either:

100 V $\pm$ 15 V for windings with peak working voltage < 500 V, or

500 V $\pm$ 50 V for windings with peak working voltage $\geq$ 500 V.

The test voltage shall be applied until a steady reading is obtained or, failing that, for $60\text{ s} \pm 5\text{ s}$.

If a specified environmental conditioning is required the component shall be held in the specified condition for a minimum of 6 h, unless otherwise specified. (See IEC 68 for information on environmental testing.)

Information to be stated:

- a) terminations between which the measurement is to be made;
- b) peak working voltage of each winding;
- c) environmental conditioning.

4.4.3 Pertes

4.4.3.1 Courant à vide

Objet: Vérifier que le circuit est de la qualité requise, qu'il est correctement assemblé et qu'il n'y a pas de parties en court-circuit dans les bobinages.

Méthode: La tension spécifiée à la fréquence ou aux fréquences spécifiées est appliquée à partir d'une source à basse impédance au bobinage d'entrée avec tous les autres enroulements à circuits ouverts. La distorsion harmonique à la tension appliquée doit être inférieure à 6 %. Le courant d'entrée est mesuré avec un instrument de précision en valeur efficace. Son impédance doit être suffisamment basse pour ne pas avoir d'influence sur la tension d'entrée de plus de 1 %. Le courant d'entrée est mesuré quand sa valeur est stabilisée. Pour les composants polyphasés, tous les courants d'entrée sont mesurés.

Informations à préciser:

- a) tension alternative;
- b) fréquence d'essai;
- c) enroulement à essayer;
- d) valeur maximale efficace du courant d'entrée.

4.4.3.2 Pertes à vide

Objet: Vérifier que le composant est de la qualité requise, qu'il est correctement monté et qu'il n'y a pas de parties en court-circuit dans les bobinages.

Méthode: La tension spécifiée à la fréquence spécifiée est appliquée au bobinage d'entrée à travers un wattmètre adapté, tous les autres enroulements étant à circuit ouvert. La distorsion harmonique de la tension quand elle est appliquée au bobinage sera inférieure à 6 %.

Les pertes sont mesurées quand leur valeur est stabilisée, une correction étant faite pour les pertes internes du wattmètre si celles-ci sont significatives.

Informations à préciser:

- a) tension d'essai;
- b) fréquence d'essai;
- c) enroulement à connecter;
- d) pertes maximales admissibles.

4.4.3.3 Facteur de surtension (facteur Q)

Objet: Déterminer le facteur de surtension d'un composant à une fréquence particulière.

Méthode: Le facteur de surtension Q est mesuré à la fréquence et à la tension spécifiées en se servant d'une méthode appropriée, par exemple:

- a) par pont d'inductance adéquat;

4.4.3 Losses

4.4.3.1 No-load current

Purpose: To verify that the core is of the required quality and is correctly assembled and that there are no short-circuited parts of the windings.

Procedure: The specified voltage at the frequency or frequencies specified shall be applied from a low impedance source to the input winding with all other windings open-circuit. The harmonic distortion of the applied voltage shall be less than 6 %. The input current shall be measured with a true r.m.s. instrument, whose impedance is sufficiently low not to affect the applied voltage by more than 1 %. The input current shall be measured when its value is stabilized. For polyphase components all input currents shall be measured.

Information to be stated:

- a) a.c. voltage;
- b) test frequency;
- c) winding to be tested;
- d) maximum r.m.s. value of input current.

4.4.3.2 No-load loss

Purpose: To verify that the transformer is of the required quality and is correctly assembled and that there are no short-circuited parts of the windings.

Procedure: The specified voltage at the specified frequency shall be applied to the input winding via a suitable wattmeter, all other windings being open-circuit. The harmonic distortion of the voltage when applied to the winding shall be less than 6 %.

The power loss shall be measured when its value has been stabilized, a correction being made for the wattmeter losses if these are significant.

Information to be stated:

- a) test voltage;
- b) test frequency;
- c) winding to be connected;
- d) maximum power loss.

4.4.3.3 Quality factor, Q

Purpose: To determine the quality factor of a component at a particular frequency.

Procedure: The quality factor, Q , shall be measured at the specified voltage and frequency using a suitable method, for example:

- a) a suitable inductance bridge;

- b) par un appareil de mesure de l'amplification du circuit (du type à résonance);
- c) par la méthode des pertes d'insertion (voir par exemple l'annexe H de la CEI 367-1);
- d) par méthode d'oscillation amortie (voir par exemple l'annexe G de la CEI 367-1).

Les références données ci-dessus pour les méthodes c) et d) comprennent les formules et les calculs appropriés.

La formule ci-après donne les relations entre l'inductance efficace L et la résistance R du composant essayé, selon que l'on utilise une représentation série (s) ou parallèle (p) du circuit, et la valeur mesurée pour Q à la fréquence f :

$$Q = \frac{2 \pi f L_s}{R_s}$$

et

$$Q = \frac{R_p}{2 \pi f L_p}$$

respectivement.

Informations à préciser:

- a) branchement des enroulements;
- b) tension alternative;
- c) fréquence de mesures;
- d) valeurs limites du facteur de surtension Q .

NOTE – Dans les essais, pour des facteurs de surtension élevés, des corrections pour les pertes par capacité et pour les impédances des connexions peuvent être nécessaires.

4.4.4 Inductance

4.4.4.1 Inductance effective et résistance effective

Objet: Mesurer l'inductance effective et, si elle est spécifiée, la résistance effective de l'enroulement.

Méthode: L'inductance et, si elle est spécifiée, la résistance effective en courant alternatif de l'enroulement spécifié sont mesurées par un pont adéquat, à la tension et à la fréquence spécifiées avec application d'un courant continu superposé, si nécessaire.

Informations à préciser:

- a) enroulement à mesurer;
- b) nature de la mesure (voir note);
- c) tension alternative sur l'enroulement mesuré;
- d) fréquence de la mesure;
- e) courant continu superposé.

- b) circuit magnification meter (Q-meter);
- c) insertion loss measurement (see, for example, appendix H of IEC 367-1);
- d) damped oscillation method (see, for example, appendix G of IEC 367-1).

The references given for methods c) and d) above contain the appropriate formulae and calculations.

The relationships between the effective inductance L and resistance R of a component under test, according to whether a series (s) or parallel (p) circuit representation is used, and the measured value of Q at the frequency f are given by:

$$Q = \frac{2\pi f L_s}{R_s}$$

and

$$Q = \frac{R_p}{2\pi f L_p}$$

respectively.

Information to be stated:

- a) winding connections;
- b) a.c. voltage;
- c) measuring frequency;
- d) limits of Q value.

NOTE – In tests of high Q components, corrections for capacitor losses and terminating impedance may be necessary.

4.4.4 Inductance

4.4.4.1 Effective inductance and effective resistance

Purpose: To measure the effective inductance and, if specified, the effective resistance of a winding.

Procedure: The inductance and, if specified, the effective resistance of the specified winding shall be measured on a suitable bridge at the specified voltage and frequency with polarizing d.c. applied if required.

Information to be stated:

- a) winding to be measured;
- b) form of measurement (see note);
- c) a.c. voltage on the measured winding;
- d) measuring frequency;
- e) polarizing d.c.

NOTES

- 1 Dans le cas de composants avec un coefficient de surtension bas, pratiquement 10 ou moins, il est nécessaire de spécifier la méthode de mesure (série ou parallèle).
- 2 Il y a une différence entre l'inductance réelle L_o mesurée à basse fréquence et l'inductance effective L_e mesurée à la fréquence proche de la self-résonance.

4.4.4.2 Inductance de fuite, L_l

Objet: Déterminer l'inductance de fuite entre les enroulements d'un transformateur.

Méthode: L'inductance série de l'enroulement spécifié est mesurée sur un pont adéquat, les autres enroulements ou un enroulement spécifique étant court-circuité(s) comme spécifié.

Informations à préciser:

- a) branchements des enroulements;
- b) tension alternative;
- c) fréquence lors des mesures (voir note 2).

NOTES

- 1 Au cours de cet essai, la tension appliquée devra être suffisamment basse pour que les courants dans les enroulements en court-circuit ne dépassent pas leur valeur nominale.
- 2 La fréquence devra être choisie de manière à assurer que la valeur indiquée de l'inductance série tombe dans la partie droite minimale de la courbe de l'inductance mesurée en fonction de la fréquence (voir figure 4).

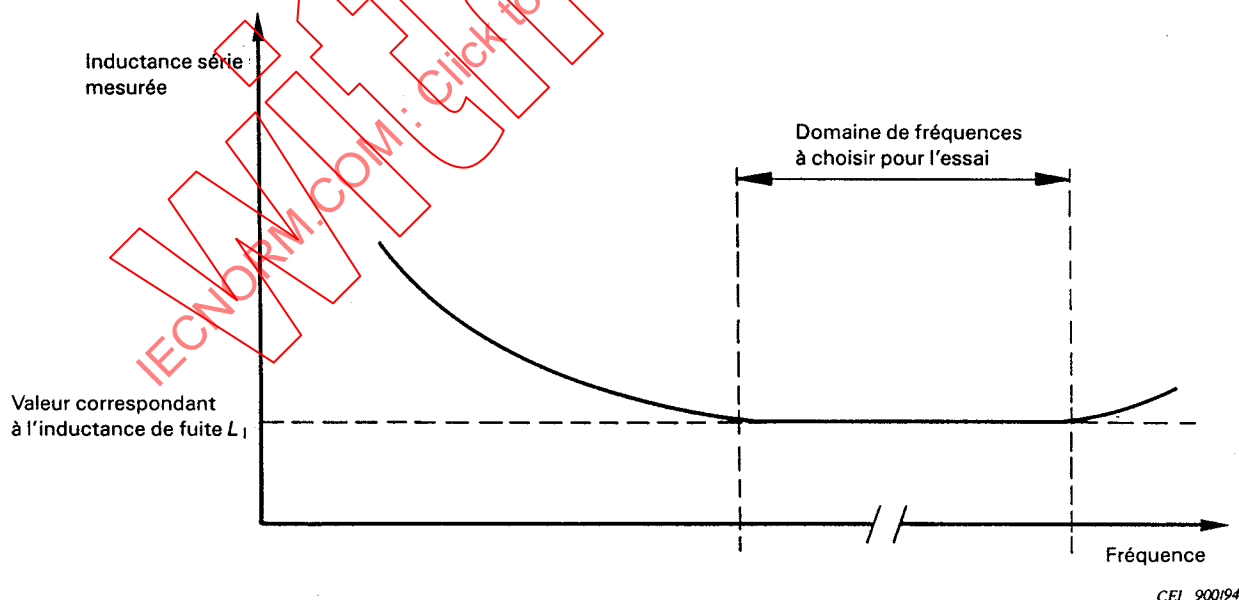


Figure 4 – Variation de l'inductance série mesurée en fonction de la fréquence

NOTES

- 1 In the case of low Q components, typically 10 or less, it is necessary to specify series or parallel mode of measurement.
- 2 There is a difference between the true inductance L_0 measured at low frequencies, and the effective inductance L_e measured at a frequency approaching self-resonance.

4.4.4.2 Leakage inductance, L_l

Purpose: To determine the leakage inductance between windings of a transformer.

Procedure: The series inductance of the specified winding shall be measured on a suitable bridge, the remaining windings or a specific winding being short-circuited as specified.

Information to be stated:

- a) winding connections;
- b) a.c. voltage;
- c) measuring frequency (see note 2).

NOTES

- 1 In performing this test the applied voltage should be sufficiently low for the currents in the short-circuited windings not to exceed their rated values.
- 2 The selected frequency should ensure that the indicated value of the series inductance falls on the straight minimum portion of the graph of measured inductance versus frequency (see figure 4).

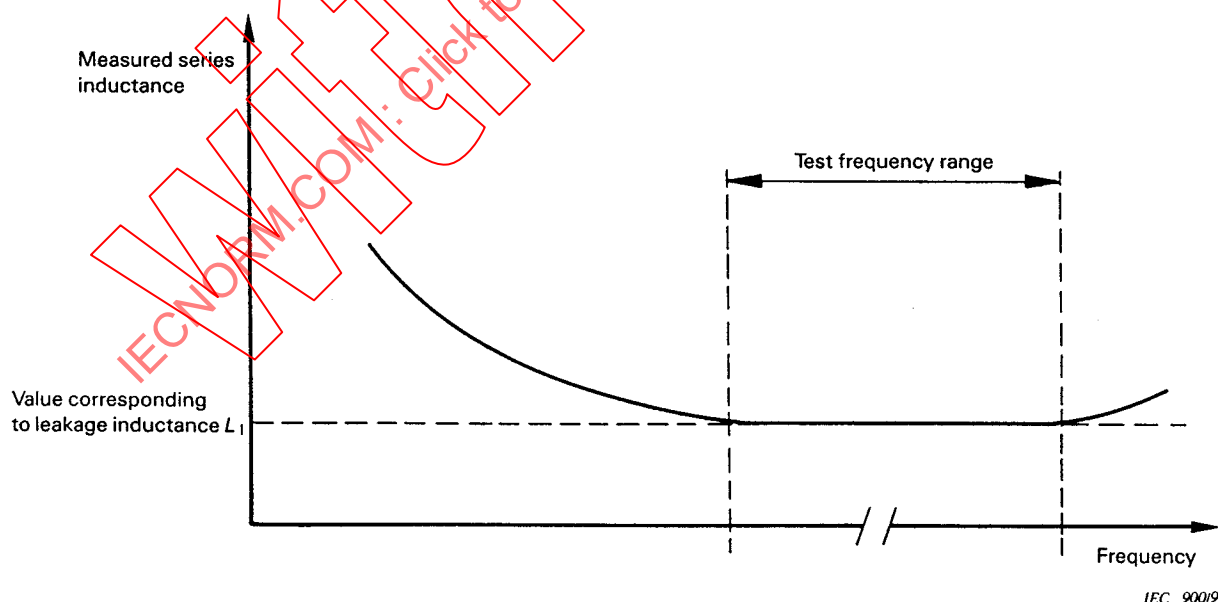


Figure 4 – Variation of measured series inductance with frequency

4.4.5 Déséquilibre

NOTE – Les essais suivants portent sur les différents types de déséquilibres rencontrés dans un transformateur.

4.4.5.1 Déséquilibre des capacités

Objet: Déterminer le déséquilibre de capacité entre les enroulements spécifiés d'un transformateur.

Méthode: Un circuit de mesure adéquat de ce paramètre est montré dans la figure 5. La fréquence d'essai doit être suffisamment élevée pour rendre négligeables les effets d'un déséquilibre d'inductance.

Aucune connexion n'étant réalisée avec le transformateur en essai, la capacité C_1 est amenée à une valeur spécifiée, par exemple 50 pF, et un équilibre est obtenu en faisant varier la capacité C_2 . Le transformateur est alors connecté comme le montre le schéma, et le pont est rééquilibré en faisant varier la capacité C_1 . La différence entre les deux valeurs de C_1 donne le déséquilibre des capacités.

Informations à préciser:

- a) valeur initiale de la capacité C_1 ;
- b) branchement du composant en essai;
- c) fréquence.

4.4.5 *Unbalance*

NOTE – The following tests are concerned with the various types of unbalance in transformers.

4.4.5.1 *Capacitance unbalance*

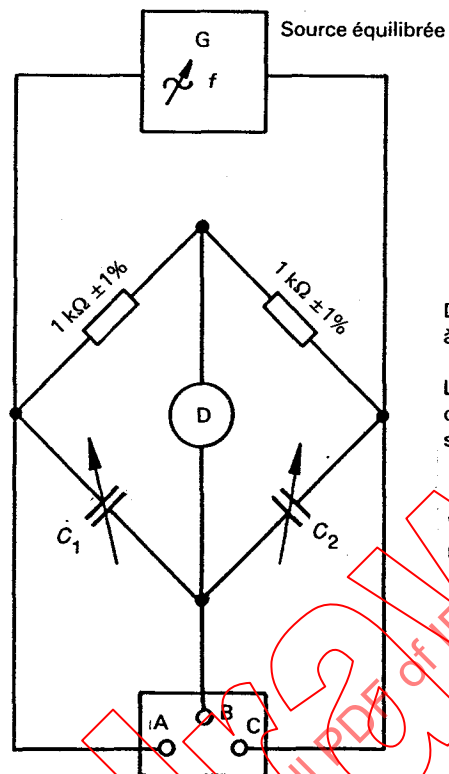
Purpose: To determine the capacitance unbalance between specified terminations of a transformer.

Procedure: A suitable circuit for the measurement of this parameter is shown in figure 5. The test frequency shall be high enough to make the effect of inductance unbalance negligible.

With no connections to the transformer under test, capacitor C_1 is set to a specified value (for example 50 pF) and a balance is obtained by varying C_2 . The transformer is then connected as shown and the bridge is rebalanced by varying C_1 . The difference between the two values of C_1 is the capacitance unbalance.

Information to be stated:

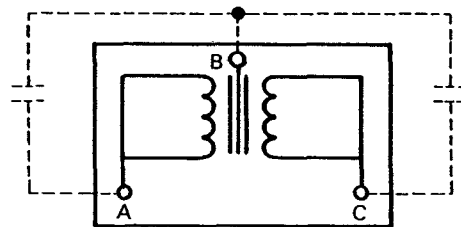
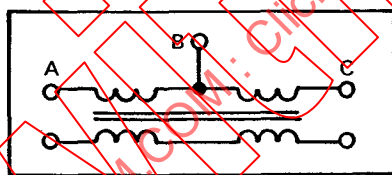
- a) initial value of C_1 ;
- b) component connections;
- c) frequency.



D est un détecteur à haute impédance

Les résistances de $1\text{ k}\Omega$ des branches du pont sont des résistances non réactives

C_1 et C_2 sont des capacités variables étalonnées du même modèle, de préférence à air

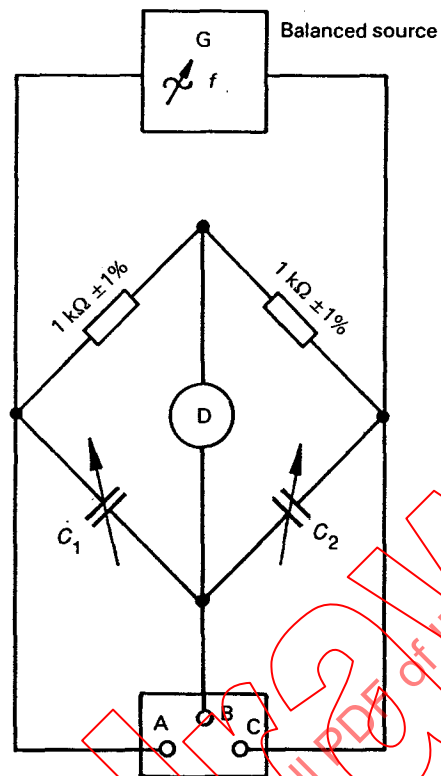


Composant en essai

CEI 901/94

NOTE – Les lettres de repérage des sorties ne sont données qu'à titre indicatif.

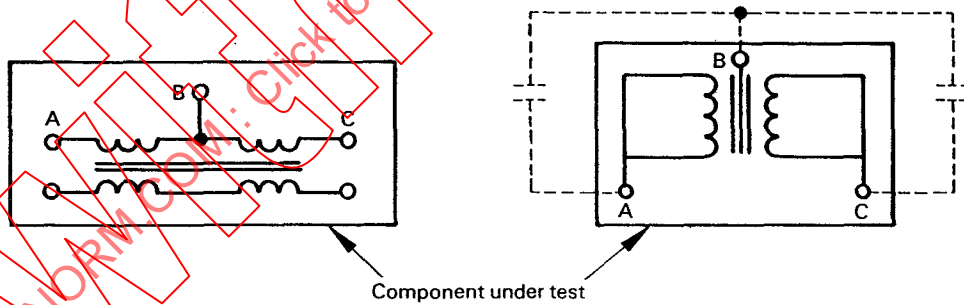
Figure 5 – Circuit pour la mesure du déséquilibre des capacités



D is a high-impedance detector

The $1\text{ k}\Omega$ ratio arms are non-reactive resistors

C_1 and C_2 are calibrated variable capacitors of the same type, preferably air dielectric



IEC 901/94

NOTE - Terminal letters are for reference only.

Figure 5 - Circuit for measuring capacitance unbalance

4.4.5.2 Taux de réjection en mode commun

Objet: Déterminer le degré de réjection d'une tension d'entrée en mode commun.

Méthode: Un circuit adéquat pour cet essai est montré dans la figure 6 ci-après.

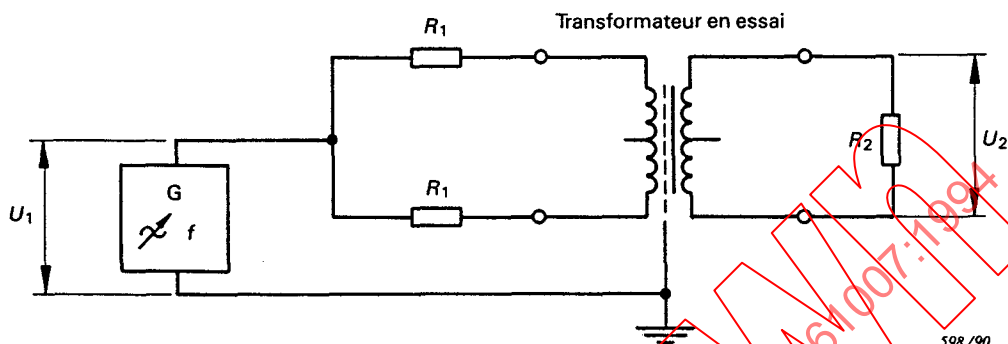


Figure 6 – Circuit pour déterminer le taux de réjection en mode commun

Les bornes d'entrée du transformateur en essai sont connectées au point chaud d'une source d'alimentation à travers des résistances R_1 égales chacune à la moitié de l'impédance de source. Les connexions de sortie du transformateur en essai sont connectées à une résistance R_2 dont la valeur est spécifiée dans la spécification particulière.

Le taux de réjection en mode commun (CMRR) en décibels est donné par:

$$\text{CMRR} = -20 \log (U_2/U_1)$$

où

U_1 est la tension de la source en mode commun, et

U_2 est la tension du signal en mode commun provenant du composant en essai.

Informations à préciser:

- branchement du transformateur, incluant les mises à la terre;
- fréquence de l'essai;
- impédance de la source $2R_1$;
- résistance de charge R_2 .

4.4.5.3 Déséquilibre d'impédance

Objet: Déterminer le déséquilibre d'impédance entre deux enroulements d'un transformateur qui sont supposés devoir être égaux.

Méthode: Un circuit adéquat pour cet essai est montré dans la figure 7 ci-après.

4.4.5.2 Common mode rejection ratio

Purpose: To determine the degree of rejection of the common mode input voltage.

Procedure: A suitable circuit for this test is shown in figure 6.

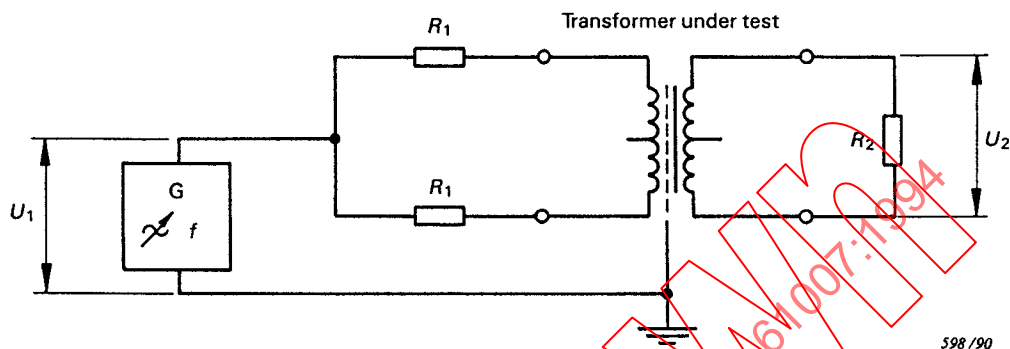


Figure 6 – Circuit for determining common mode rejection ratio

The input terminals of the transformer under test are connected to the high potential terminal of a voltage source through equal resistors R_1 , each equal to half the input impedance. The output terminals of the transformer under test are connected to a resistor R_2 whose value is specified in the detail specification.

The common mode rejection ratio (CMRR) in decibels is given by:

$$\text{CMRR} = -20 \log (U_2/U_1)$$

where

U_1 is the voltage of the common mode source, and

U_2 is the voltage of the common mode signal emerging from the component under test.

Information to be stated:

- transformer connections, including earth connections;
- test frequency;
- input impedance, $2R_1$;
- load resistor R_2 .

4.4.5.3 Impedance unbalance

Purpose: To determine the impedance unbalance between two windings of a transformer, intended to be equal.

Procedure: A suitable circuit for this test is shown in figure 7.

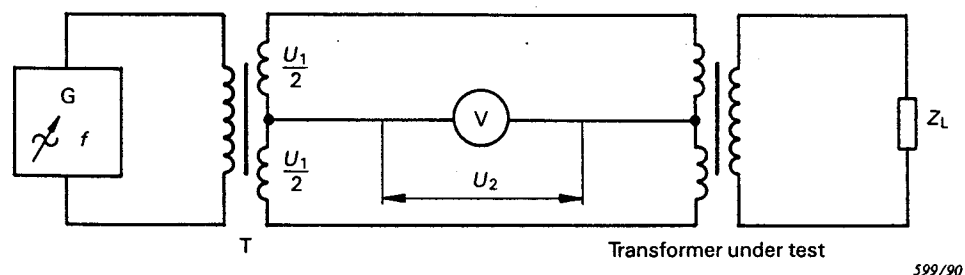


Figure 7 – Circuit pour la mesure du déséquilibre d'impédance

Un transformateur de précision avec écran et équilibré doit être utilisé comme transformateur T à l'entrée; sa symétrie doit être au moins supérieure de 20 dB à celle qui est prévue pour le transformateur en essai.

Si la tension causée par le déséquilibre, mesurée par le voltmètre V, est U_2 , l'impédance de déséquilibre a_{uz} en décibels est donnée par l'expression:

$$a_{uz} = 20 \log (U_1/2U_2)$$

Informations à préciser:

- a) branchement du composant;
- b) tension d'entrée U_1 ;
- c) impédance de charge Z_L ;
- d) fréquence de l'essai.

NOTE – Il est recommandé qu'un voltmètre à fréquence sélective V accordé à la fréquence d'essai soit utilisé pour mesurer U_2 .

4.4.5.4 Affaiblissement diaphonique

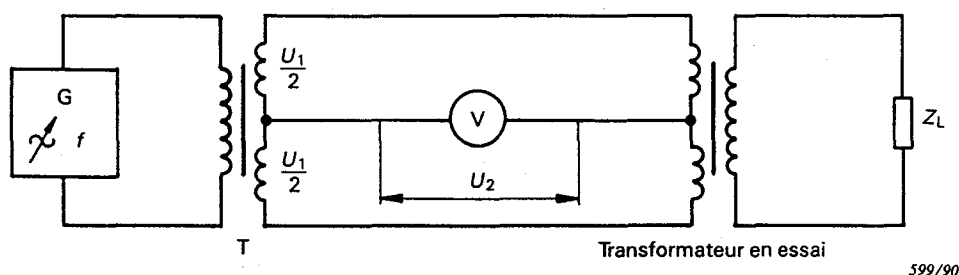
Objet: Déterminer l'affaiblissement diaphonique d'un transformateur de ligne téléphonique en utilisant un circuit de charge fictif.

Méthode: Un circuit d'essai adéquat est montré dans la figure 8.

L'atténuateur doit être ajusté jusqu'à ce que $U_1 = U_2$.

L'atténuation diaphonique a_c en décibels doit être calculée en fonction de l'indication de l'atténuateur a_r par l'expression suivante:

$$a_c = a_r + 10 \log 2 - 10 \log (Z_p/Z_s)$$



599/90

Figure 7 – Circuit for measuring impedance unbalance

A precision screened and balanced transformer shall be used as the input transformer T and its symmetry shall be at least 20 dB better than the expected reading for the transformer under test.

If the voltage caused by unbalance, as measured by the voltmeter V, is U_2 , then the impedance unbalance a_{uz} in decibels is given by the expression:

$$a_{uz} = 20 \log (U_1/2U_2)$$

Information to be stated:

- component connections;
- input voltage U_1 ;
- load impedance Z_L ;
- test frequency.

NOTE – It is recommended that V is a frequency selective voltmeter, tuned to the test frequency.

4.4.5.4 Crosstalk attenuation

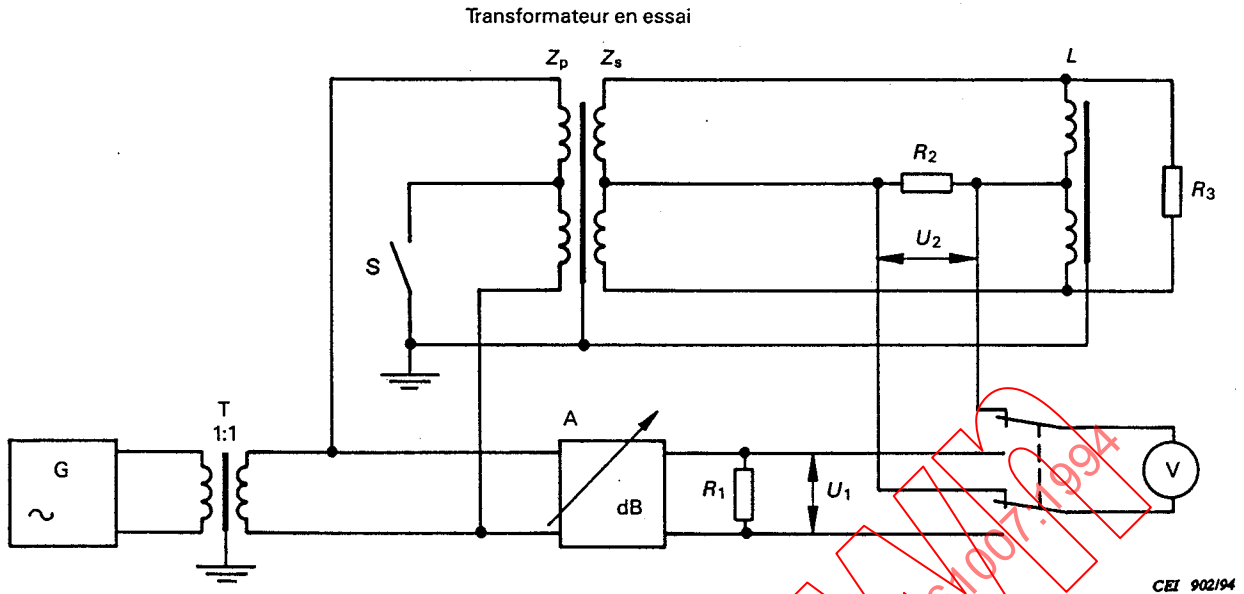
Purpose: To determine the crosstalk attenuation of a telecommunication line transformer which is for use in a phantom circuit.

Procedure: A suitable test circuit is shown in figure 8.

The attenuator shall be adjusted until $U_1 = U_2$.

The crosstalk attenuation a_c in decibels shall then be calculated in terms of the attenuator setting a_r from the following expression:

$$a_c = a_r + 10 \log 2 - 10 \log (Z_p/Z_s)$$



- T est un transformateur de précision avec écran et équilibré.
- L est une inductance à point milieu de précision avec écran et équilibrée dont la symétrie est au moins supérieure de 20 dB à celle du transformateur en essai.
- G est un générateur de faible impédance de sortie.
- A est un atténuateur variable de précision d'impédance caractéristique R_1 .
- V est un voltmètre adéquat pour la fréquence de travail de cet essai et ayant une impédance plus grande que 10 k Ω .
- S est un interrupteur permettant de mettre le point milieu du transformateur à la masse si cela est demandé.
- Z_p est l'impédance spécifiée du primaire.
- Z_s est l'impédance spécifiée du secondaire.
- R_1 est une résistance de valeur égale à l'impédance caractéristique de l'atténuateur.
- R_2 est une résistance de valeur équivalente à l'impédance du circuit fictif.
- R_3 est une résistance de valeur équivalente à l'impédance spécifiée du secondaire.

Figure 8 – Circuit pour déterminer l'affaiblissement diaphonique

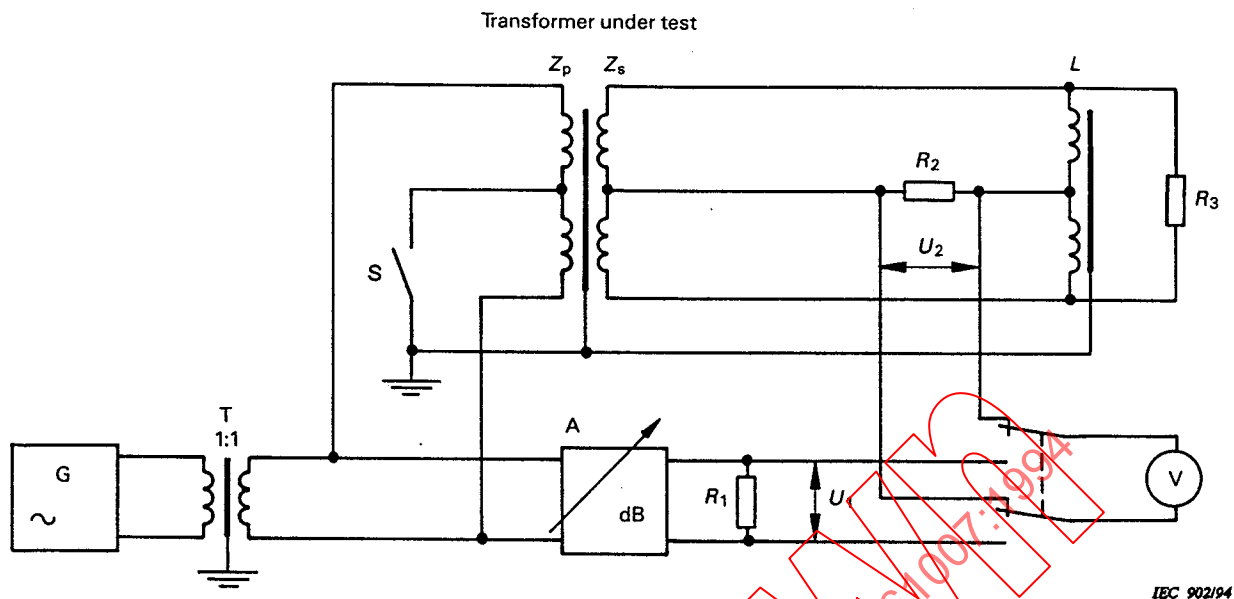
Informations à préciser:

- impédance secondaire et primaire du transformateur;
- impédance du circuit fictif;
- fréquence d'essai si elle diffère de 800 Hz;
- préciser si le point milieu de l'enroulement primaire doit être à la masse ou non.

4.4.5.5 Déséquilibre de tension

Objet: Déterminer le déséquilibre de tension entre deux enroulements supposés être égaux.

Méthode: Le transformateur est alimenté à partir d'une source de tension et de fréquence spécifiées. Une résistance de charge simulant les conditions de travail est connectée aux



T is a precision screened and balanced transformer.

L is a precision screened and balanced centre-tapped inductor, whose symmetry is at least 20 dB better than that expected for the transformer under test.

G is a generator of low-output impedance.

A is a precision variable attenuator of characteristic impedance R_1 .

V is a voltmeter suitable for the operating frequency of the test set and having an impedance greater than 10 k Ω .

S is a switch enabling transformer primary centre tap to be earthed, if required.

Z_p is the specified primary impedance.

Z_s is the specified secondary impedance.

R_1 is a resistor of value equal to the characteristic impedance of the attenuator.

R_2 is a resistor of value equal to the phantom circuit impedance.

R_3 is a resistor of value equal to the specified secondary impedance.

Figure 8 – Circuit for determining crosstalk attenuation

Information to be stated:

- transformer primary and secondary impedances;
- phantom circuit impedance;
- test frequency if other than 800 Hz;
- transformer primary winding centre tap to be earthed or not earthed.

4.4.5.5 Voltage unbalance

Purpose: To determine the voltage unbalance between two windings intended to be equal.

Procedure: The transformer shall be connected to a source of specified voltage and frequency. A resistive load simulating the operating conditions shall be connected to the

enroulements appropriés. La tension aux bornes de l'enroulement en essai est mesurée et le déséquilibre de tension déterminé par les valeurs mesurées U_1 et U_2 en pourcentage en utilisant la formule:

$$\frac{U_1 - U_2}{U_1} \times 100$$

ou exprimée en décibels par le paramètre a_{uv} donné par l'expression:

$$a_{uv} = 20 \log U_1 / (U_1 - U_2)$$

où U_1 est la plus grande des valeurs mesurées.

Informations à préciser:

- a) fréquence de l'essai;
- b) tension appliquée;
- c) branchement du composant;
- d) résistance de charge.

4.4.5.6 Déséquilibre de résistance

Objet: Déterminer le déséquilibre de résistance en courant continu entre deux enroulements supposés être égaux.

Méthode: La résistance en courant continu de chaque enroulement spécifié est mesurée en utilisant un instrument ayant une précision égale au dixième de la valeur ohmique du déséquilibre de résistance en courant continu ou meilleure. Le courant de mesure ne doit pas causer d'échauffement ou de magnétisation significative pour le composant.

Le déséquilibre de résistance est calculé sous forme de pourcentage par la formule:

$$\frac{R_1 - R_2}{R_1} \times 100$$

ou en décibels par le paramètre a_{ur} donné par l'expression:

$$a_{ur} = 20 \log R_1 / (R_1 - R_2)$$

où R_1 est la valeur mesurée la plus grande et R_2 la plus petite.

Information à préciser:

- branchement des enroulements.

appropriate windings; the voltages across the windings under test shall be measured and the voltage unbalance determined from the measured values U_1 and U_2 as a percentage, using the formula:

$$\frac{U_1 - U_2}{U_1} \times 100$$

or expressed in decibels by the parameter a_{uv} given by the expression:

$$a_{uv} = 20 \log U_1 / (U_1 - U_2)$$

where U_1 is the larger of the measured values.

Information to be stated:

- a) test frequency;
- b) voltage to be applied;
- c) component connections;
- d) load resistance.

4.4.5.6 Resistance unbalance

Purpose: To determine the d.c. resistance unbalance between two windings intended to be equal.

Procedure: The d.c. resistance of each specified winding shall be measured using an instrument having a resolution of 0,1 times the ohmic value of the specified d.c. resistance unbalance, or better. The measuring current shall be chosen so as not to cause heating or significant magnetization of the component under test.

The resistance unbalance shall be calculated as a percentage from the formula:

$$\frac{R_1 - R_2}{R_1} \times 100$$

or expressed in decibels by the parameter a_{ur} given by the expression:

$$a_{ur} = 20 \log R_1 / (R_1 - R_2)$$

where R_1 is the larger of the measured values and R_2 the smaller.

Information to be stated:

- winding connections.

4.4.6 Capacité

4.4.6.1 Self-capacité (capacité répartie)

Objet: Déterminer la self-capacité effective (capacité répartie) des bobinages spécifiés.

Méthode 1: La mesure est effectuée en raccordant les sorties de l'enroulement à un Q-mètre avec des connexions les plus courtes possibles. A la fréquence spécifiée (au moins cinq fois la fréquence de résonance de l'enroulement), l'enroulement est accordé avec une inductance spécifiée. L'enroulement est déconnecté du Q-mètre et, en mettant une capacité à la place de l'enroulement, l'inductance est accordée à nouveau à la même fréquence. La capacité ajoutée doit être prise comme valeur réelle de la capacité répartie de l'enroulement.

Méthode 2: Des capacités de valeurs connues sont connectées en parallèle avec l'enroulement, et les fréquences de résonance du circuit parallèle ainsi réalisé sont mesurées sur un pont d'impédance parallèle ou un pont d'admittance. Les valeurs de la capacité sont notées en fonction de $1/f^2$. Si on obtient une ligne droite, l'intersection avec l'axe des capacités est prise comme valeur de capacité exigée. Une représentation graphique type est donnée en figure 9.

Une représentation non linéaire indique un blindage par courant de Foucault et dans ce cas les valeurs de la capacité doivent être alors notées en fonction de:

$$1/f^2 (L_1/L)$$

où:

L est l'inductance de l'enroulement à basse fréquence;

L_1 est son inductance à la fréquence de mesure, la différence provenant du blindage par courant de Foucault.

Pour les deux méthodes, les conditions de mise à la terre doivent être spécifiées.

NOTE – En pratique, la méthode 2 n'est pas rigoureuse car l'intersection est très dépendante de la pente de la «droite» obtenue par des points d'une grande dispersion et situés trop loin de l'origine.

Informations à préciser:

- branchement des enroulements;
- méthode 1 ou 2;
- pour la méthode 1 la fréquence de mesure;
- pour la méthode 1 seulement, une description de l'inductance spécifiée;
- les conditions de mise à la terre.

4.4.6 Capacitance

4.4.6.1 Self-capacitance (distributed capacitance)

Purpose: To determine the effective self-capacitance (distributed capacitance) of specified windings.

Procedure 1: Measurement shall be made with short leads connecting the terminations to a Q-meter. At the specified frequency (at least five times the self-resonant frequency of the winding) the winding shall be resonated with a specified inductor. The winding shall be removed from the Q-meter and, by adding capacitance in place of the winding, the inductor shall be resonated again at the same frequency. The added capacitance shall be taken as the effective self-capacitance of the winding.

Procedure 2: Capacitors of known values shall be connected in parallel with the winding, and the resonant frequencies of the parallel circuits so formed shall be measured on a suitable parallel impedance or admittance bridge. The capacitance values shall be plotted against $1/f^2$. If this yields a straight line, the intercept on the capacitance axis shall be taken as numerically equal to the required capacitance. A typical plot is shown in figure 9.

A non-linear plot indicates eddy current shielding in which case the capacitance values shall then be plotted against:

$$1/f^2 (L_1/L)$$

where

L is the inductance of the winding at low frequency;

L_1 is its inductance at the frequency of measurement, the change in value occurring because of eddy current shielding.

For both Procedures 1 and 2 the earthing conditions shall be as specified.

NOTE – In practice, Procedure 2 is of doubtful accuracy since the intercept is very sensitive to the slope of the "straight line", and the points tend to exhibit scatter and lie too far from the origin.

Information to be stated.

- a) winding connections;
- b) Procedure 1 or 2;
- c) for Procedure 1, the measuring frequency;
- d) for Procedure 1 only, a description of the specified inductor;
- e) earthing conditions.

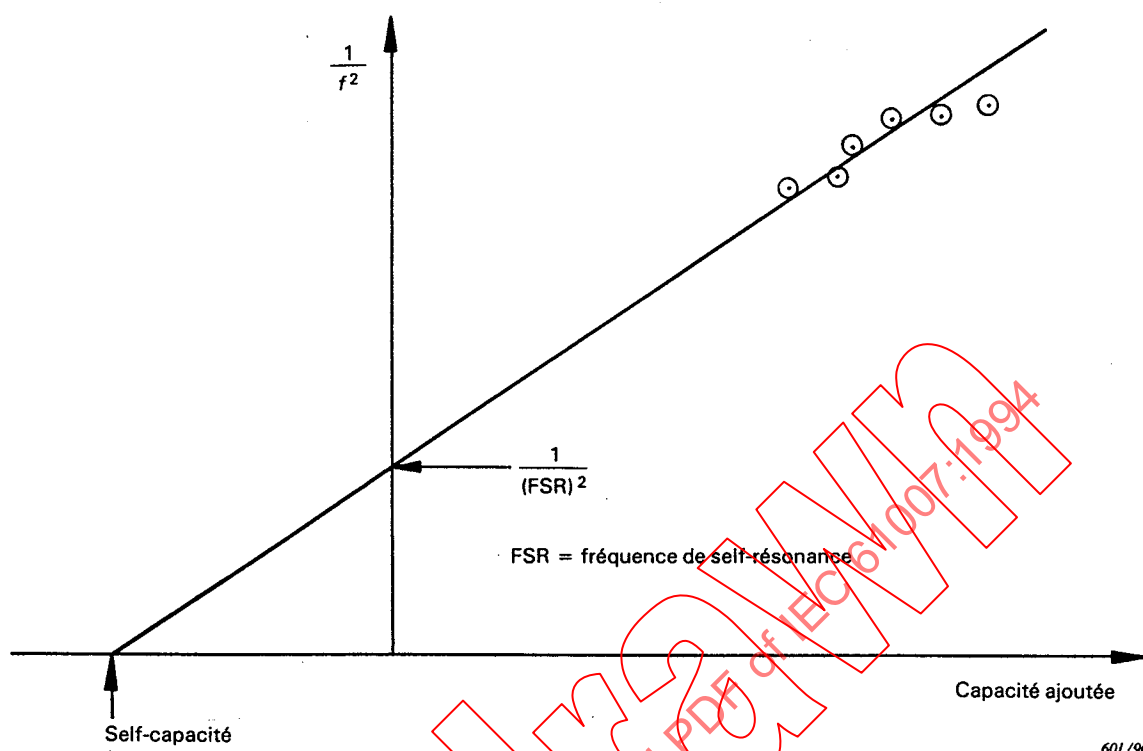


Figure 9 – Représentation graphique type pour la détermination de la self-capacité

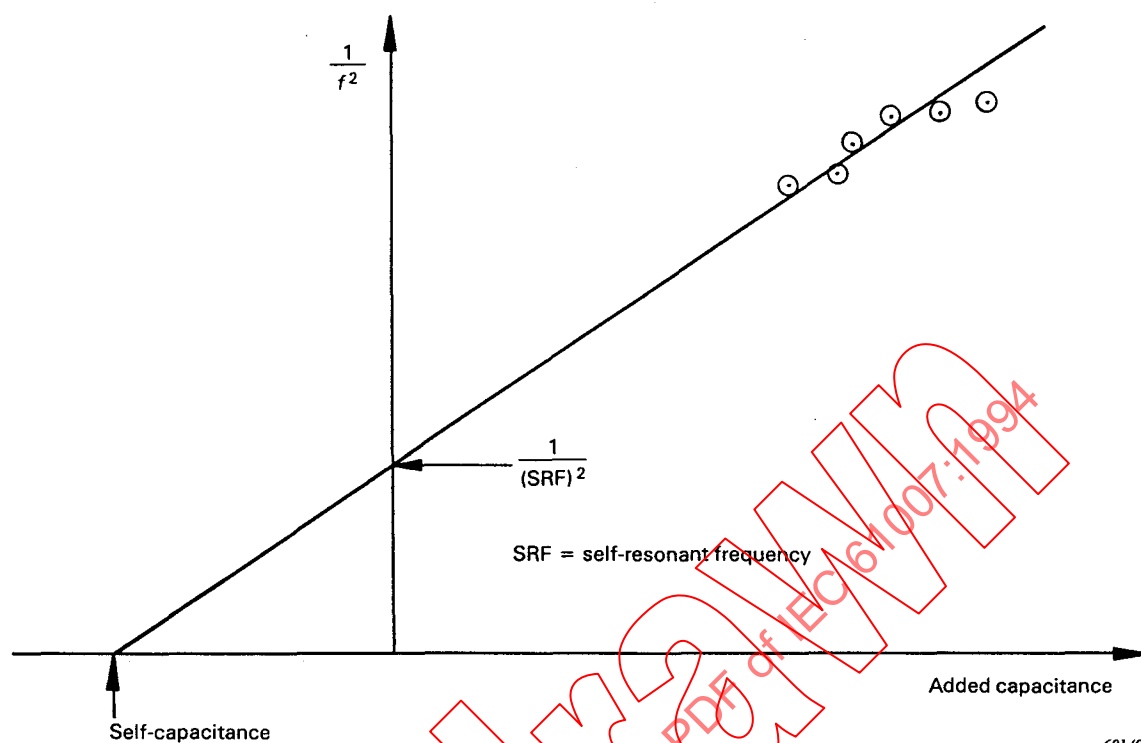
4.4.6.2 Capacité entre enroulements

Objet: Déterminer la capacité effective entre des enroulements spécifiés.

Méthode 1: Les enroulements concernés par la mesure sont court-circuités sauf indication contraire donnée dans la spécification particulière. Les points spécifiés de connexion entre lesquels la capacité effective est demandée sont connectés à un pont de capacité adéquat.

NOTE — Cette méthode convient à des fréquences relativement basses.

Méthode 2: Les points de connexion spécifiés des enroulements à essayer, chacun étant court-circuité sauf indication contraire, sont connectés pour constituer un circuit d'essai comme celui de la figure 10, où X_c représente la réactance de la capacité à mesurer.



601/90

Figure 9 – Typical graph for determining self-capacitance

4.4.6.2 Interwinding capacitance

Purpose: To determine the effective capacitance between specified windings.

Procedure 1: Windings to be included in the measurement shall be short-circuited, unless otherwise specified in the detail specification. The specified points of connection, between which the effective capacitance is required, shall be connected to a suitable capacitance bridge.

NOTE – This method is suitable for use at relatively low frequencies.

Procedure 2: The specified points of connection of the windings to be tested, each short-circuited unless otherwise required, shall be connected as shown in a test circuit such as that of figure 10, where X_c represents the reactance of the capacitance to be measured.

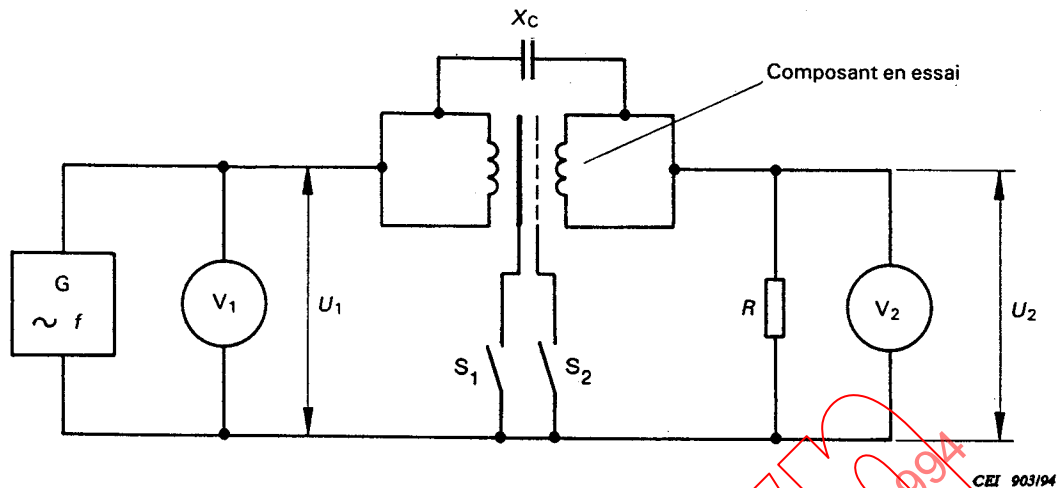


Figure 10 – Circuit pour la mise en évidence de la capacité entre enroulements

La résistance de R doit être de 100 à 1 000 fois plus petite que la valeur de X_c . On lit les valeurs de U_1 et de U_2 sur les voltmètres V_1 et V_2 respectivement, et la capacité entre les enroulements est calculée par la formule:

$$C = \frac{1}{2\pi f R} \times \frac{U_2}{U_1}$$

où f est la fréquence du générateur G .

NOTE – Quand on fait des mesures sur de nombreux composants, il peut être approprié d'utiliser des valeurs fixes pour f , R et U_1 de manière à pouvoir lire directement U_2 en valeurs de capacité.

Les interrupteurs S_1 et S_2 permettent au circuit magnétique ou à l'écran, ou aux deux à la fois, d'être connectés à la terre.

Informations à préciser:

- branchement des enroulements;
- pour la méthode 1 la fréquence.

4.4.6.3 Capacité entre éléments du montage

Objet: Déterminer la capacité effective entre deux éléments d'un transformateur (par exemple entre enroulement et écran ou circuit magnétique).

Procédure: Identique à 4.4.6.2.

Informations à préciser: Comme en 4.4.6.2.

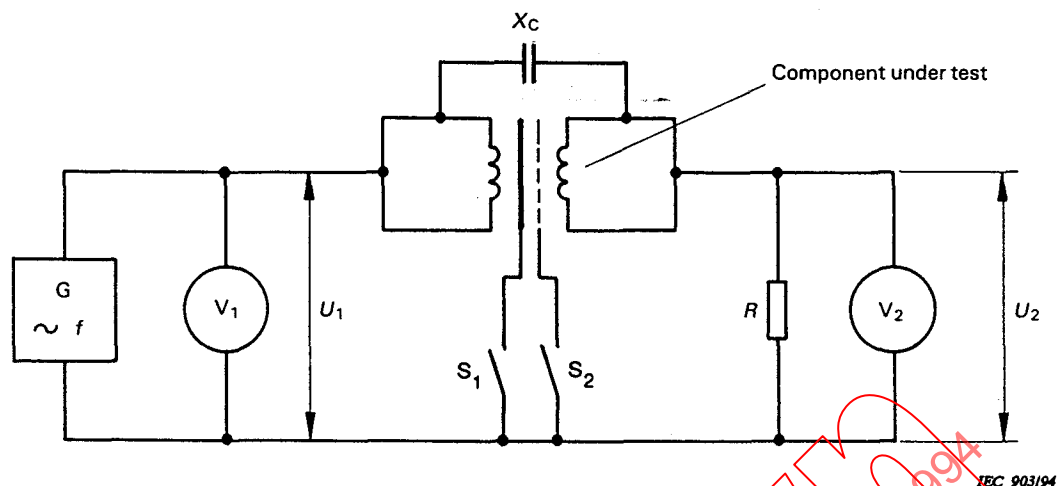


Figure 10 – Circuit for determining interwinding capacitance

The resistance of R should be 100 to 1 000 times smaller than the value of X_c . The values of U_1 and U_2 are read from the voltmeters V_1 and V_2 respectively, and the interwinding capacitance is calculated from the formula:

$$C = \frac{1}{2\pi f R} \times \frac{U_2}{U_1}$$

where f is the frequency of the generator G .

NOTE – Where many components have to be measured, it may be convenient to use fixed values of f , R and U_1 such that U_2 can be read directly in capacitance units.

Switches S_1 and S_2 allow the core, shield or both to be connected to earth.

Information to be stated:

- winding connections;
- for Procedure 1, frequency.

4.4.6.3 Inter-element capacitance

Purpose: To determine the effective capacitance between two elements of a transformer (e.g. winding to shield and/or core).

Procedure: As for 4.4.6.2.

Information to be stated: As for 4.4.6.2.

4.4.7 Rapport de transformation

4.4.7.1 Rapport de transformation des tensions

Objet: Vérifier que le rapport de transformation de la tension de deux enroulements d'un transformateur est dans les limites spécifiées.

Méthode 1: Un générateur de fréquence et de tension spécifiées est connecté à l'enroulement spécifié, tous les autres enroulements étant ouverts. La tension de sortie de l'enroulement approprié est mesurée et le rapport recherché est déterminé.

NOTES

- 1 L'instrument de mesure devra avoir une impédance suffisamment haute pour que ses effets sur la tension à mesurer soient négligeables.
- 2 Il est généralement conseillé d'appliquer la tension d'essai à l'enroulement de la plus haute impédance et de mesurer la tension de sortie sur l'enroulement de basse impédance à une fréquence où l'enroulement montre son coefficient de surtension maximale mais éloignée de la self-résonance.

Informations à préciser:

- a) tension alternative;
- b) fréquence de mesure;
- c) enroulements à connecter et à mesurer;
- d) limites du rapport de transformation de la tension.

Méthode 2 (seulement pour les composants monophasés): Les deux enroulements en essai sont incorporés dans un circuit en pont comme le montre la figure 11. Les enroulements sont connectés de telle manière que l'inductance totale entre les extrémités A et C soit augmentée par l'effet de l'inductance mutuelle M entre les enroulements. Les résistances R_1 et R_2 sont amenées aux valeurs données dans la spécification particulière, et un équilibre initial est obtenu en faisant varier P sur Q . Un équilibre définitif du pont, comme indiqué par la lecture d'une valeur minimale du détecteur est alors obtenu en ajustant à la fois R_1 (ou R_2) et P/Q , et le rapport de transformation de la tension est calculé comme $AB/BC = P/Q$.

4.4.7 Transformation ratios

4.4.7.1 Voltage transformation ratio

Purpose: To verify that the voltage transformation ratio of two windings of a transformer is within specified limits.

Procedure 1: A supply of specified voltage and frequency shall be connected to the specified winding, all other windings being open-circuit. The output voltage of the appropriate winding shall be measured and the required ratio determined.

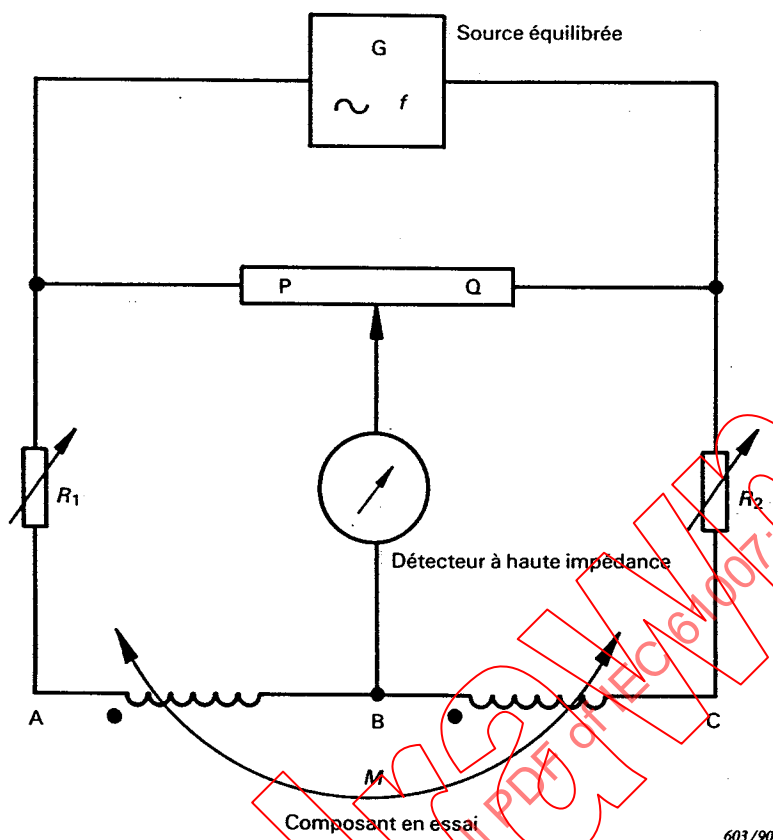
NOTES

- 1 The measuring instrument should be of sufficiently high impedance for the effect on the measured voltage to be negligible.
- 2 It is generally advisable to apply the test voltage to the highest impedance winding and measure the output of the low impedance winding at a frequency where the winding exhibits its highest Q-value but avoids self-resonance.

Information to be stated:

- a) a.c. voltage;
- b) measuring frequency;
- c) windings to be connected and measured;
- d) the voltage transformation ratio limits.

Procedure 2 (for single-phase components only): The two windings under test shall be incorporated in the bridge circuit as shown in figure 11. The two windings under test shall be connected so that the total inductance between terminals A and C is augmented by the effect of mutual inductance, M , between the windings. Resistors R_1 and R_2 are set to the values given in the detail specification and an initial balance is obtained by varying P/Q . A final bridge balance, as indicated by a minimum detector reading, shall then be obtained by adjustment of both R_1 (or R_2) and P/Q , and the voltage transformation ratio calculated as $AB/BC = P/Q$.



P et Q sont des boîtes de résistances non inductives à décades.

R_1 et R_2 sont des résistances variables non inductives.

NOTE – Les lettres de repérage des sorties sont données à titre indicatif.

Figure 11 – Circuit pour la mesure du rapport de transformation de la tension

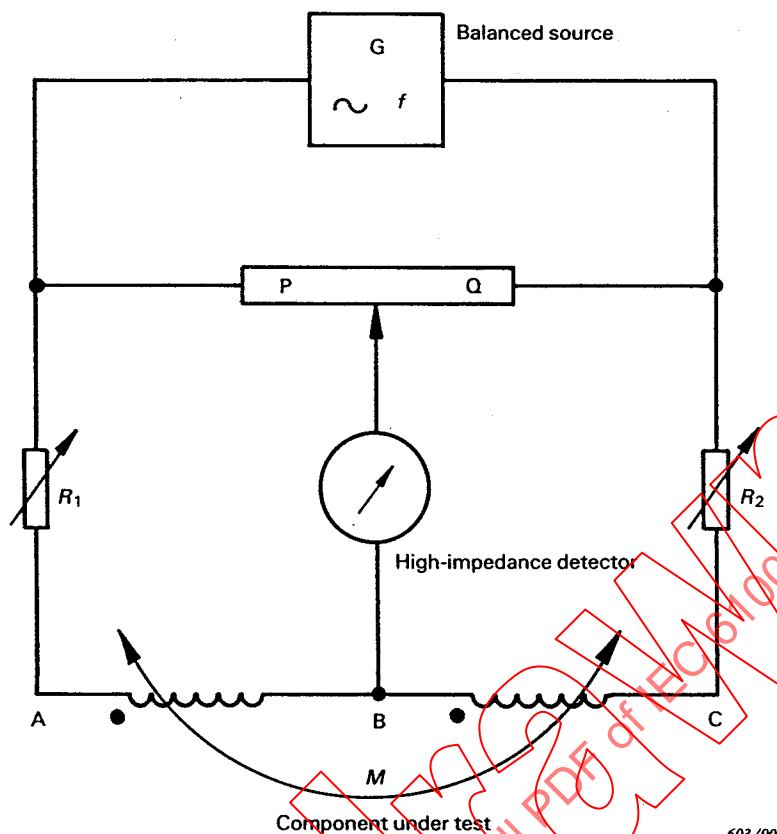
Informations à préciser dans la spécification particulière:

- a) niveau des tensions alternatives;
- b) fréquence de mesure;
- c) valeurs initiales de R_1 et R_2 ;
- d) extrémités entre lesquelles la mesure doit être faite;
- e) limites du rapport de transformation de la tension.

4.4.7.2 Rapport du courant de transformation

Objet: Déterminer le rapport de transformation du courant entre les deux enroulements d'un transformateur de courant.

Méthode: Le transformateur de courant CT est connecté dans le circuit d'essai comme indiqué dans la figure 12. On ajuste la résistance variable R_2 et M pour faire le zéro. Les équations suivantes sont alors valables:



P and Q are non-reactive decade resistance units.

R_1 and R_2 are non-reactive variable resistors.

NOTE - Terminal letters are for reference only.

Figure 11 – Circuit for measurement of voltage transformation ratio

Information to be stated in the detail specification:

- a) alternating voltage level;
- b) measuring frequency;
- c) initial values of R_1 and R_2 ;
- d) terminations between which measurements are to be made;
- e) voltage transformation ratio limits.

4.4.7.2 Current transformation ratio

Purpose: To determine the current transformation ratio between two windings of a current transformer.

Procedure: The current transformer, CT, is connected into the test circuit of figure 12. The tapping points on R_2 and M are adjusted for a null; the following equations are then valid:

$$k = \frac{i_1}{i_2} = \frac{R_2''}{R_1 \cos \beta}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\omega M}{R_2''}$$

où

k est le rapport de transformation du courant;

β est l'angle de phase entre les courants circulant dans les deux enroulements;

R_2'' est la partie de R_2 entrant dans le circuit de détection ($R_2' + R_2'' = R_2$);

$\omega = 2 \pi f$, où f est la fréquence de mesure.

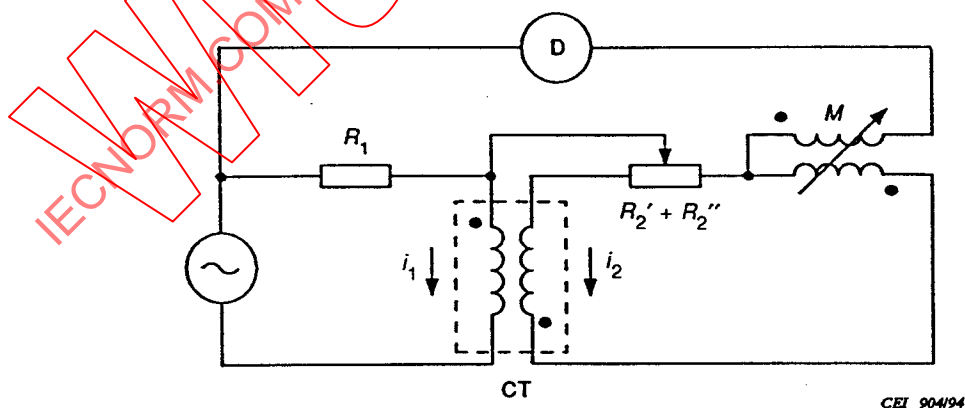
NOTES

1 Les polarités des enroulements du transformateur de courant doivent être comme indiqué de façon que les tensions traversant R_1 et R_2'' soient en opposition série par rapport au détecteur. Les polarités des enroulements de M doivent également être comme indiqué afin de permettre de trouver l'équilibre.

2 La valeur de R_2 doit être choisie de façon telle que le secondaire du CT soit chargé à sa charge assignée. Lors d'une première approximation, la valeur de R_1 peut être déduite à partir de la valeur choisie pour R_2 qui – en association avec la charge assignée – détermine en grande partie i_2 . Si la valeur spécifiée de k est correcte, la valeur de i_1 peut être calculée et, la puissance du générateur d'essai étant connue, on peut en déduire R_1 .

Informations à préciser:

- courant assigné dans le primaire;
- charge assignée;
- fréquence de mesure;
- rapport de transformation du courant et tolérance.



CEI 904/94

CT est le transformateur de courant à l'essai

M est une inductance mutuelle variable

R_1 et R_2 sont des résistances non inductives

D est un détecteur de zéro

$R_2 = R_2' + R_2''$

Figure 12 – Circuit pour la mesure du rapport de transformation du courant

$$k = \frac{i_1}{i_2} = \frac{R_2''}{R_1 \cos \beta}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\omega M}{R_2''}$$

where

k is the current transformation ratio;

β is the phase angle between currents in the two windings;

R_2'' is the portion of R_2 in the detector loop ($R_2' + R_2'' = R_2$);

$\omega = 2 \pi f$, where f is the measuring frequency.

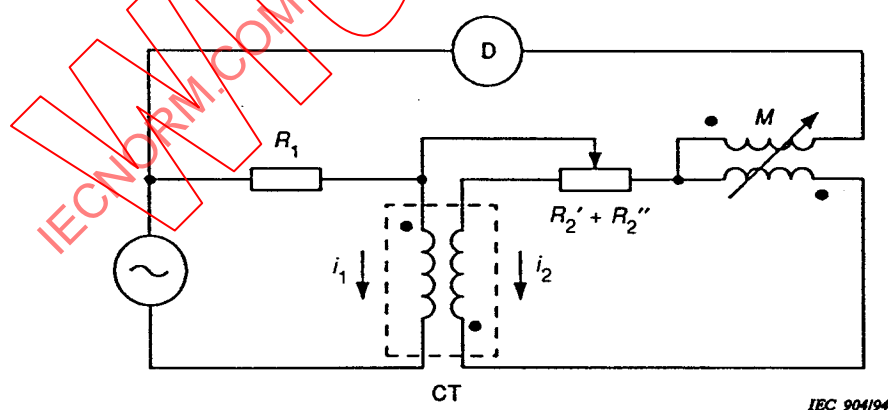
NOTES

1 The polarities of the windings of the current transformer have to be as shown so that the voltages across R_1 and R_2'' are in series opposition with respect to the detector. The polarities of the windings of M should also be as shown to assure a balance is reached.

2 The value of R_2 should be chosen so that the secondary of CT is loaded at its rated burden. To a first approximation, the value of R_1 may be deduced from the chosen value of R_2 , which in association with the rated burden largely determines i_2 . Assuming that the specified value of k is correct, the value of i_1 can be calculated, and knowing the voltage of the test generator, the value of R_1 follows.

Information to be stated:

- rated primary current;
- rated burden;
- measuring frequency;
- current transformation ratio and tolerance.



CT is the current transformer under test
 M is a variable mutual inductor
 R_1 and R_2 are non-inductive resistors
 D is a null detector
 $R_2 = R_2' + R_2''$

Figure 12 – Circuit for the measurement of current transformation ratio

4.4.8 Fréquence de résonance

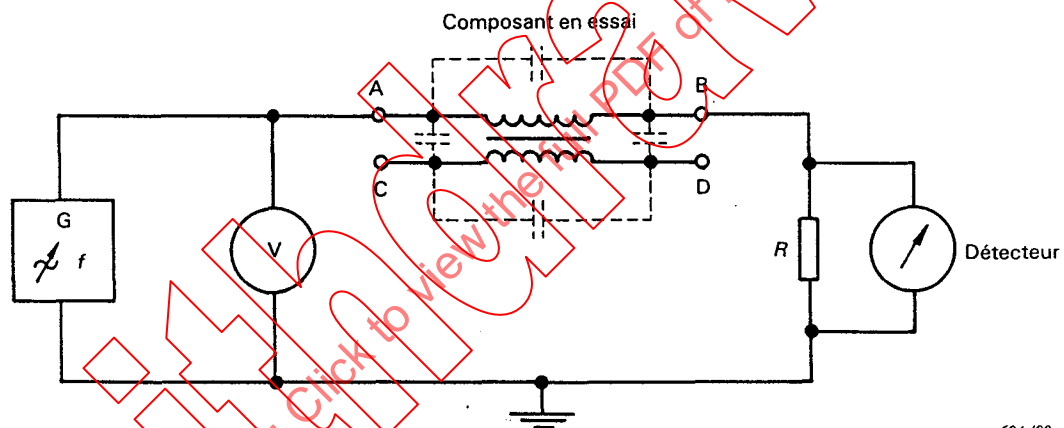
NOTE – On prendra soin d'éviter les erreurs provoquées par les capacités entre les sorties du dispositif d'essai ou entre les autres composants et la terre, spécialement s'il est nécessaire d'effectuer l'essai avec le circuit connecté à une des sorties de l'appareillage de mesure.

4.4.8.1 Fréquence de self-résonance

Objet: Déterminer la fréquence de self-résonance parallèle d'un composant inductif.

Méthode: Le composant en essai est connecté dans le circuit d'essai de la figure 13, dont les éléments satisfont aux conditions suivantes:

- Le signal de la source doit avoir une impédance de sortie suffisamment basse pour fournir le courant réactif de chaque côté de la fréquence de résonance.
- Le détecteur doit avoir une impédance élevée et une indication préférentielle minimale de 0,01 V.
- La résistance R est non réactive et doit avoir une valeur aussi basse que possible compatible avec l'obtention d'un niveau de tension adéquat.



604 / 90

NOTE – Les lettres de repérage des sorties sont données à titre indicatif.

Figure 13 – Circuit pour la détermination de la fréquence de self-résonance parallèle

En partant de la fréquence la plus basse dans la gamme de fréquences spécifiée, la fréquence doit être augmentée et le voltmètre observé pour obtenir une déviation minimale. La fréquence à laquelle le minimum apparaît est la fréquence de self-résonance.

Informations à préciser:

- tension alternative;
- valeur de la résistance R ;
- connexions incluant les parties du composant à mettre à la terre et du circuit d'essai;
- gamme de fréquences à examiner.

NOTE – La méthode 2 indiquée en 4.4.6.1 peut être utilisée comme base d'une méthode de remplacement.

4.4.8 Resonant frequency

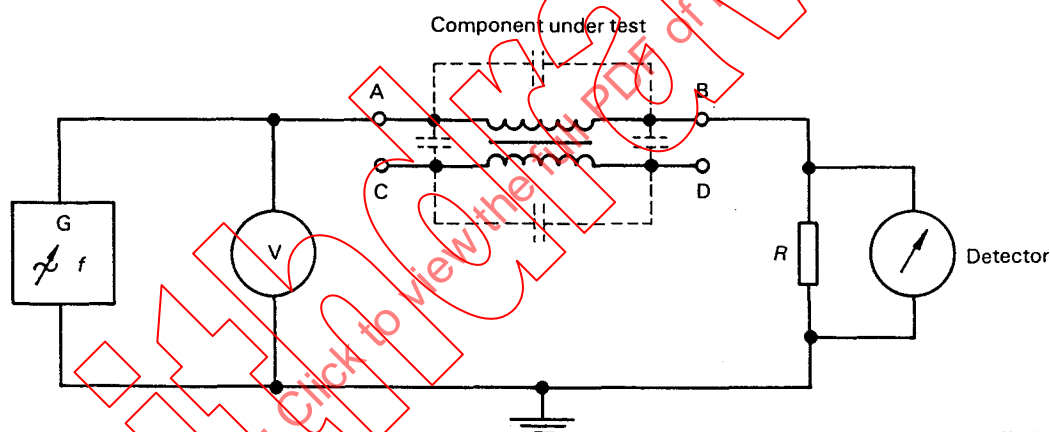
NOTE – In the following two tests, care should be taken to avoid inaccuracies caused by capacitance between test terminals or between the components and earth, especially if it is necessary to perform the test with the core connected to one of the test terminals.

4.4.8.1 Inherent self-resonance

Purpose: To determine the frequency of parallel self-resonance of an inductive component.

Procedure: The component under test is connected into the test circuit of figure 13, whose elements satisfy the following requirements:

- The signal source shall have a sufficiently low output impedance to supply the reactive current on each side of the resonant frequency.
- The detector shall have a high impedance and a preferred minimum indication of 0,01 V.
- The resistor R shall be non-reactive and shall have a value as low as practicable consistent with obtaining a suitable voltage level.



604/90

NOTE – Terminal letters are for reference only

Figure 13 – Circuit for determining parallel self-resonant frequency

Starting at the lowest frequency within the specified frequency range the frequency shall be increased and the voltmeter observed for a minimum reading. The frequency at which this minimum occurs is the self-resonant frequency.

Information to be stated:

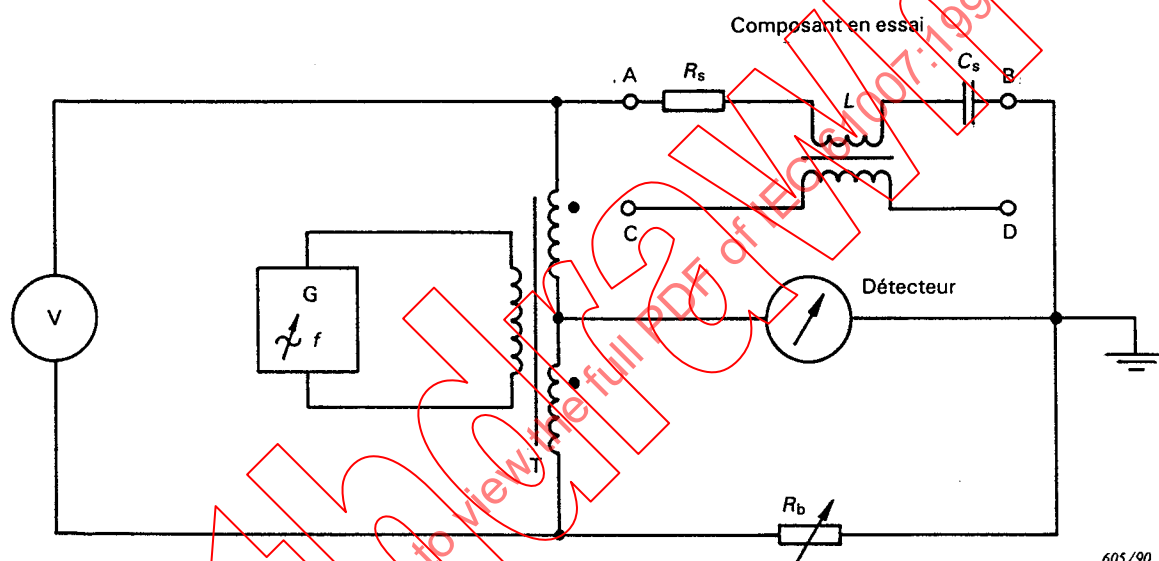
- a.c. voltage;
- value of resistor R ;
- connections, including earthing of parts of the component and test circuit;
- frequency range to be examined.

NOTE – Procedure 2 of 4.4.6.1 may be used as the basis of an alternative test method.

4.4.8.2 Ensembles résonants

Objet: Déterminer la fréquence de résonance et, si nécessaire, la résistance effective d'un composant qui inclut normalement les effets de l'adjonction de composants discrets, par exemple un condensateur résonant.

Méthode: Avec le composant en essai connecté tel que le montre le schéma du circuit de base donné dans la figure 14, la fréquence du générateur et la valeur de R_b doivent être approximativement amenées à la valeur prévue dans la spécification particulière. Avec la sortie du générateur maintenue au niveau spécifié dans la spécification particulière, la fréquence du générateur et la valeur de R_b doivent être modifiées chacune à leur tour jusqu'à ce que la déviation minimale soit obtenue sur le générateur. Les valeurs notées pour f et R_b correspondent à la fréquence de résonance requise et à la résistance série efficace du composant essayé.



- G est un oscillateur de puissance qui couvre la gamme de fréquences exigée avec une sortie adaptée pour alimenter le composant à un niveau équivalent à son fonctionnement normal;
- R_b est une résistance variable non réactive d'au moins deux fois la valeur de la résistance série effective du composant;
- T est un transformateur à écran avec un enroulement de sortie équilibré avec précision choisi pour être utilisé dans la gamme de fréquences spécifiée dans la spécification particulière.

NOTES

- 1 Le détecteur est un appareil de mesure de haute impédance de sensibilité adaptée à la gamme de fréquences spécifiée. Cet élément de circuit peut incorporer un transformateur à écran.
- 2 Les lettres de repérage des sorties sont données à titre d'indication.
- 3 Ce circuit est aussi valable pour une représentation de L et C en parallèle.

Figure 14 – Circuit pour la détermination de la fréquence de résonance d'ensembles résonants

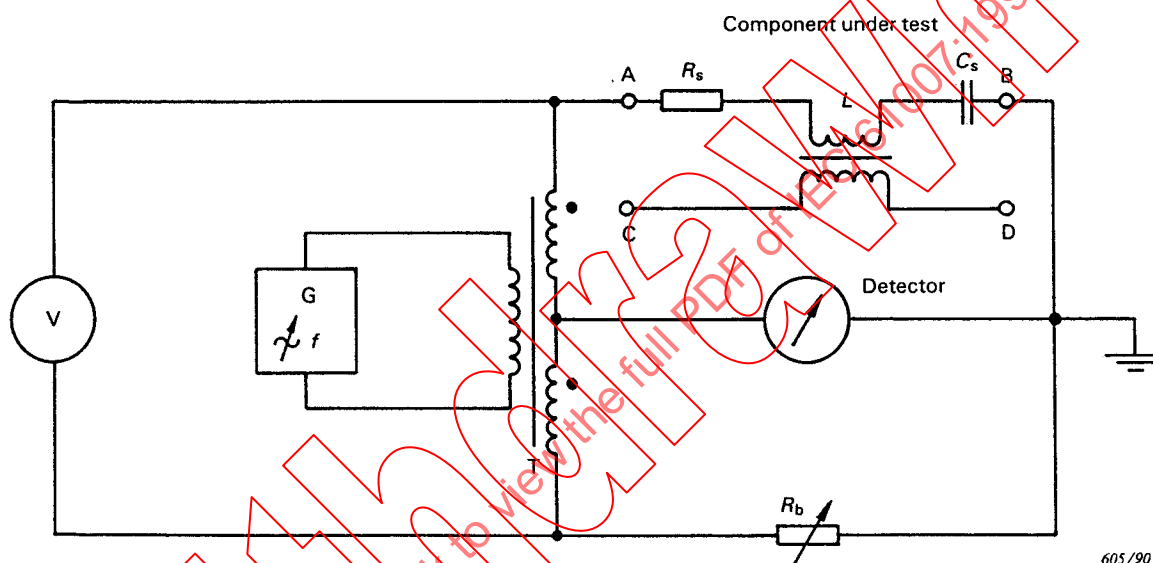
Informations à fournir dans la spécification particulière:

- a) niveau(x) de la tension alternative;
- b) limites exigées (minimales et maximales) de la fréquence de résonance;
- c) valeur de la résistance série effective (maximale et/ou minimale), si requis;

4.4.8.2 Resonant assemblies

Purpose: To determine the resonant frequency and, if required, the effective resistance of a component which normally includes the effects of added discrete components e.g. a resonating capacitor.

Procedure: With the component under test connected as shown in the basic circuit diagram given in figure 14, the frequency of the generator and the value of R_b shall be set approximately to the values specified in the detail specification. With the output of the generator maintained at the level specified in the detail specification, the generator frequency and the value of R_b shall be varied, each in turn, until minimum deflection is obtained on the detector. These values of f and R_b , which are noted, correspond to the required resonant frequency and the effective series resistance of the component under test.



G is a power oscillator, covering the required resonant frequency range, with an output adequate to energize the component to a level comparable with its normal application;

R_b is a non-reactive variable resistor of at least twice the value of the component's effective series resistance;

T is a screened transformer with an accurately balanced output winding suitable for use over the frequency range specified in the detail specification.

NOTES

- 1 The detector is a high-impedance meter of suitable sensitivity, suitable for the specified frequency range. This circuit element may incorporate a screened transformer.
- 2 Terminal letters are for reference only.
- 3 This circuit is also suitable for parallel combinations of L and C .

Figure 14 – Circuit for determining resonant frequency of resonant assemblies

Information to be stated in the detail specification:

- a) the alternating voltage level(s);
- b) the required resonant frequency limits (minimum and maximum);
- c) the value of effective series resistance (maximum and/or minimum) if required;

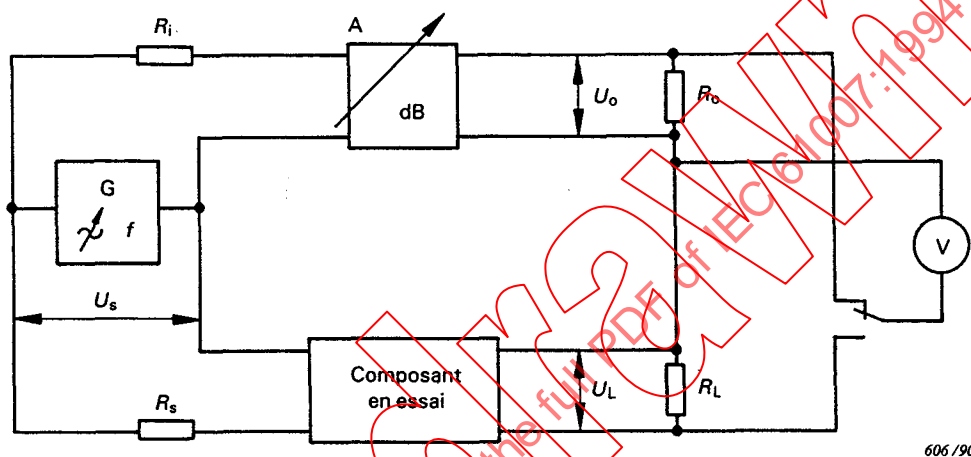
- d) détails de la charge et des connexions avec référence particulière à la mise à la terre des parties du ou des composants.

4.4.9 Caractéristiques du transfert de signal

4.4.9.1 Pertes d'insertion

Objet: Déterminer les pertes d'insertion d'un transformateur à une tension spécifiée, et à travers une gamme de fréquences spécifiée quand le transformateur est connecté entre une source et une impédance de charge déterminée.

Méthode: Le transformateur est connecté dans le circuit de base de la figure 15.



- G est un générateur de fréquence variable, couvrant la gamme des fréquences spécifiées pour l'essai.
 A est un atténuateur variable de précision ayant une impédance d'entrée R_i et une impédance de sortie R_o .
 V est un voltmètre à haute impédance, à fréquence sélective.
 R_i est une résistance de valeur égale à l'impédance d'entrée de l'atténuateur.
 R_o est une résistance de valeur égale à l'impédance de sortie de l'atténuateur.
 R_L est une résistance de valeur égale à l'impédance spécifiée du transformateur.
 R_s est une résistance de valeur égale à l'impédance de source spécifiée du transformateur.
 U_L est la tension aux bornes de la charge.
 U_s est la tension aux bornes de la source.
 U_o est la tension aux bornes de R_o .

NOTE – Ce montage n'est possible seulement que si $U_L \leq U_s/2$ et $R_L \leq R_s$.

Figure 15 – Circuit pour la détermination de la perte d'insertion

A chacune des fréquences spécifiées, la tension U_L est mesurée et l'atténuateur ajusté pour rendre U_o égal à U_L .

Pour un transformateur de rapport 1, les pertes d'insertion sont égales à la lecture de l'atténuateur.

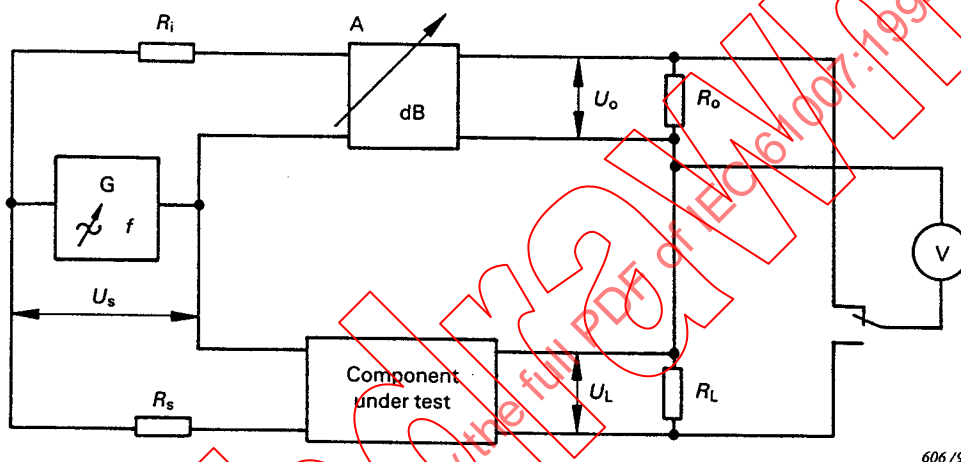
- d) the loading details and connections with particular reference to the earthing of parts of the component(s).

4.4.9 Signal transfer characteristics

4.4.9.1 Insertion loss

Purpose: To determine the insertion loss of a transformer at a specified voltage and throughout a specified frequency range when the transformer is inserted between specified source and load impedances.

Procedure: The transformer shall be connected in the basic circuit of figure 15.



606/90

G is a variable frequency generator covering the specified frequency range of the test.

A is a precision variable attenuator having an input impedance R_i and output impedance R_o .

V is a frequency selective, high-impedance voltmeter.

R_i is a resistor of value equal to input impedance of the attenuator.

R_o is a resistor of value equal to output impedance of the attenuator.

R_L is a resistor of value equal to the specified load impedance of the transformer.

R_s is a resistor of value equal to the specified source impedance of the transformer.

U_L is the voltage across load.

U_s is the voltage across source.

U_o is the voltage across R_o .

NOTE – This arrangement applies only if $U_L \leq U_s/2$ and $R_L \leq R_s$.

Figure 15 – Circuit for determination of insertion loss

At each specified frequency U_L shall be measured and the attenuator adjusted to make U_o equal to U_L .

For a transformer ratio of 1:1 the insertion loss is equal to the attenuator reading.

Si le rapport n'est pas égal à 1, la lecture de l'atténuateur a_r doit être notée et les pertes d'insertion a_i en décibels doivent être calculées à partir de l'expression:

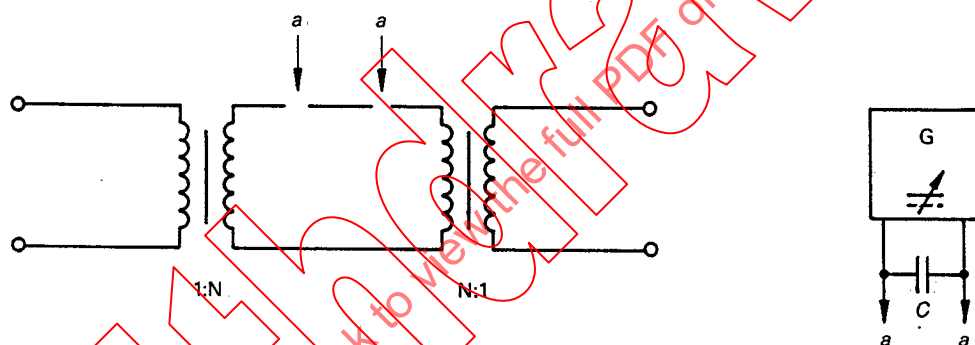
$$a_i = a_r - 10 \log (R_s/R_L)$$

Ce qui donne une valeur correcte des pertes d'insertion quand toute partie réactive des impédances de la source et de la charge est définie comme partie du transformateur. Si cela n'est pas le cas, les pertes d'insertion entre les impédances Z_s (impédance de la source) et Z_L (impédance de charge) sont données par:

$$a_i = 20 \log \left(\frac{U_s}{U_L} \left| \frac{Z_L}{Z_s + Z_L} \right| \right)$$

NOTE – En général, Z_L et Z_s sont des quantités complexes.

Quand le rapport du transformateur diffère notablement de 1:1, il est possible de faire des mesures plus fiables en utilisant deux échantillons identiques comme le représente la figure 16, pour constituer le «composant essayé» de la figure 15. Ce montage facilite aussi les mesures quand il est nécessaire d'avoir des courants de polarisation, comme l'indique l'encart de la figure 16.



CEI 905/94

NOTE – Il faut que C ait une réactance négligeable à la fréquence d'essai.

Figure 16 – Utilisation de deux transformateurs identiques quand le rapport de transformation est différent de 1 et/ou un courant continu est requis

Dans ce cas, la valeur des pertes d'insertion pour chaque transformateur doit être la moitié de la lecture de l'atténuateur.

Informations à préciser:

- branchement des enroulements;
- impédance de source;
- impédance de charge;
- tension d'alimentation;
- gamme de fréquences des mesures;
- courant de polarisation s'il y en a.

NOTE – Les couplages parasites entre l'entrée et la sortie devront être amenés au minimum par un blindage approprié et par mise à la terre.

If the ratio is not 1:1 the attenuator reading a_r shall be noted and the insertion loss a_i in decibels calculated from the expression:

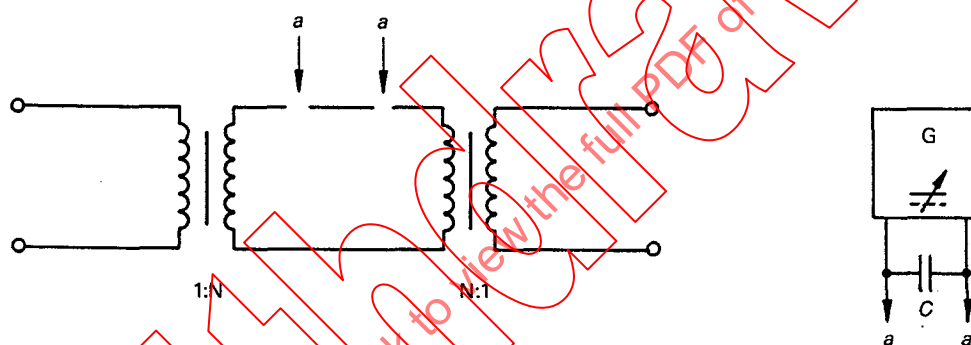
$$a_i = a_r - 10 \log (R_s/R_L)$$

This gives the correct insertion loss when any reactive part of the source and load impedances is defined as part of the transformer. If this is not so then the insertion loss between impedances Z_s (source impedance) and Z_L (load impedance) is given by:

$$a_i = 20 \log \left(\frac{U_s}{U_L} \left| \frac{Z_L}{Z_s + Z_L} \right| \right)$$

NOTE – In general, Z_s and Z_L are complex quantities.

When the transformer has a ratio significantly different from 1:1, more reliable measurements can be made by using two identical specimens in the manner shown in figure 16 to form the "component under test" of figure 15. This arrangement also facilitates making measurements when polarizing currents are required, as indicated by the inset to figure 16.



IEC 905/94

NOTE – C requires to be of negligible reactance at the test frequency.

Figure 16 – Use of two identical transformers when transformation ratio is not unity and/or a d.c. bias is required

In this case, the value of the insertion loss for each transformer shall be taken to be half the attenuator reading.

Information to be stated:

- winding connections;
- source impedance;
- load impedance;
- source voltage;
- measuring frequency range;
- polarizing current (if any).

NOTE – Unwanted couplings between input and output should be kept to a minimum by appropriate shielding and earthing.

4.4.9.2 Affaiblissement

Objet: Mesurer le degré de désadaptation de l'impédance, au moyen de l'affaiblissement, présenté par un enroulement particulier d'un transformateur quand tous les autres enroulements sont chargés avec leurs impédances de charge appropriées.

L'affaiblissement a_{rl} qui mesure la désadaptation entre une source et une charge est donné en décibels par l'expression:

$$a_{rl} = 10 \log (W_a / W_r)$$

où

W_a est la puissance disponible maximale dans la charge;

W_r est la puissance réfléchie.

Ainsi, comme le montre la figure 17, pour un générateur d'impédance de sortie R_G et une tension de sortie U_o connectée à une charge R_L , les conditions de tension maximale de sortie apparaissent quand $R_L = R_G$ et dans ce cas

$$W_a = U_o^2 / 4R_G$$

Quand R_L a une autre valeur, la différence entre la puissance développée dans ces conditions et le maximum possible dans la charge, qui est la puissance réfléchie, est donnée par:

$$W_r = \frac{U_o^2}{4R_G} \left(\frac{R_L - R_G}{R_L + R_G} \right)^2$$

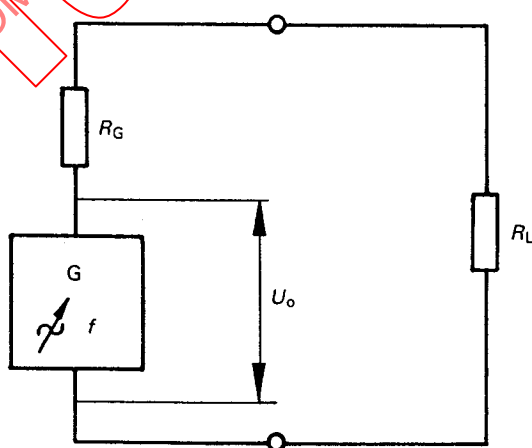


Figure 17 – Explication d'affaiblissement

4.4.9.2 Return loss

Purpose: To determine the degree of impedance mismatch, in terms of return loss, presented by a particular transformer winding when all other windings are terminated with their appropriate load impedances.

Return loss a_{rl} as a measure of mismatch between a source and a load is given in decibels by the expression:

$$a_{rl} = 10 \log (W_a/W_r)$$

where

W_a is the maximum available power in the load;

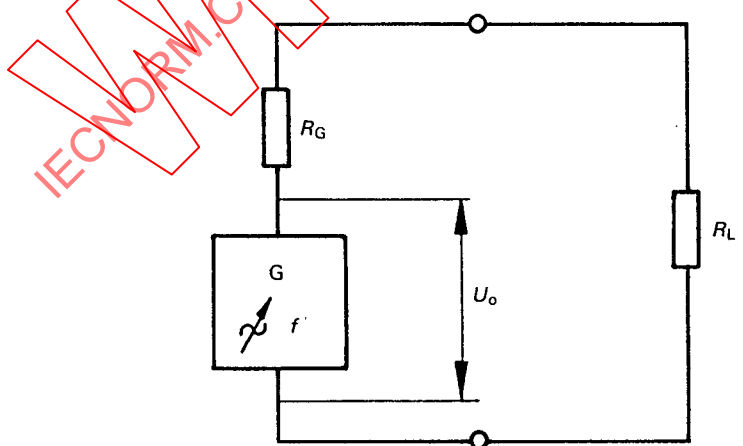
W_r is the reflected power.

Thus, as illustrated in figure 17, for a generator of output impedance R_G and open-circuit voltage U_o connected to a load R_L , the maximum available power condition occurs when $R_L = R_G$ and so under these circumstances

$$W_a = U_o^2 / 4R_G$$

When R_L has some other value, the difference between the actual power developed and the maximum possible in the load, that is the reflected power, is given by:

$$W_r = \frac{U_o^2}{4R_G} \left(\frac{R_L - R_G}{R_L + R_G} \right)^2$$



608/90

Figure 17 – Illustration of return loss

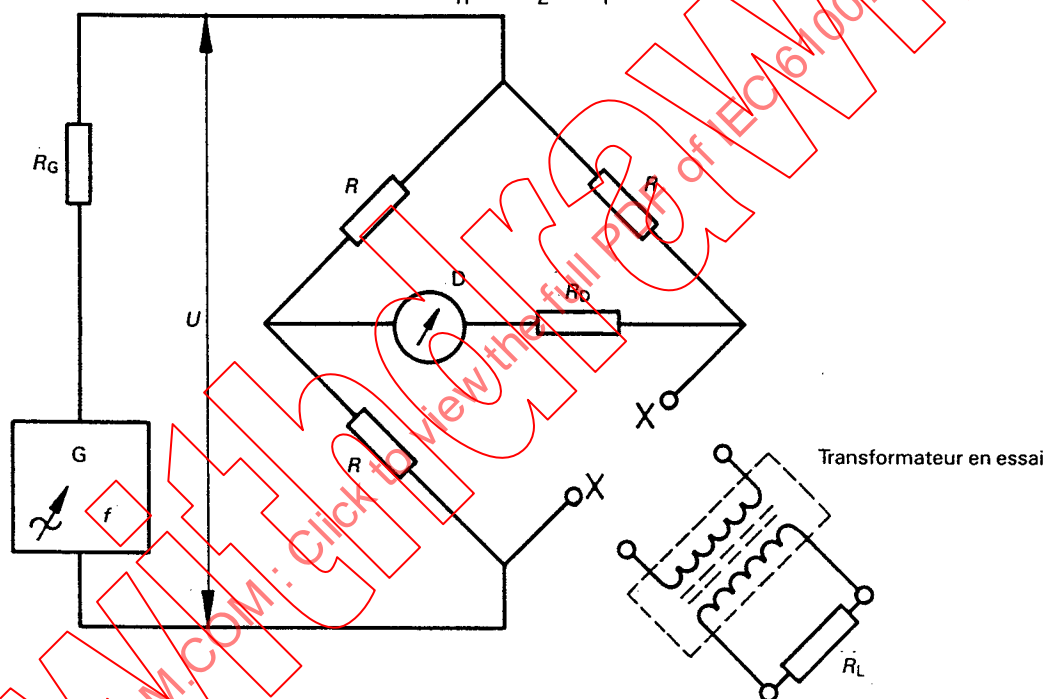
Alors la valeur de l'affaiblissement a_{rl} , en décibels, est donnée par:

$$a_{rl} = 20 \log \frac{R_L + R_G}{|R_L - R_G|}$$

Méthode: Le pont de mesure de base décrit dans la figure 18 est établi avec ses éléments égaux à R_G ; la tension U et la fréquence f de la source sont amenées aux valeurs spécifiées. Les pertes du circuit du pont initial enregistrées sur le décibelmètre étalonné D quand les extrémités X sont soit court-circuitées ou ouvertes sont notées. Ces pertes sont appelées a_1 . Le transformateur à essayer est alors connecté aux extrémités X et les pertes représentées par D sont notées. Ces pertes sont appelées a_2 .

L'affaiblissement du transformateur a_{rl} , en décibels, est donné par l'expression:

$$a_{rl} = a_2 - a_1$$



Les résistances R sont indépendantes de la fréquence et appariées les unes par rapport aux autres à $\pm 0,1 \%$.
 $R = R_G = R_D$ (= pratiquement 600Ω).
 D est un décibelmètre d'usage courant pour des impédances de référence standard telle que 600Ω .

Figure 18 – Circuit de mesure d'affaiblissement standard

NOTES

- 1 Les pertes initiales du circuit du pont a_1 doivent être proches de 12 dB; la valeur mesurée dépend de la précision des éléments constituant le pont, en particulier de la source et des impédances du décibelmètre calibré.
- 2 Des instruments de mesure du commerce incorporant l'ensemble des circuits nécessaires pour obtenir une mesure directe des pertes d'insertion sont d'un usage commun et peuvent donc être utilisés.

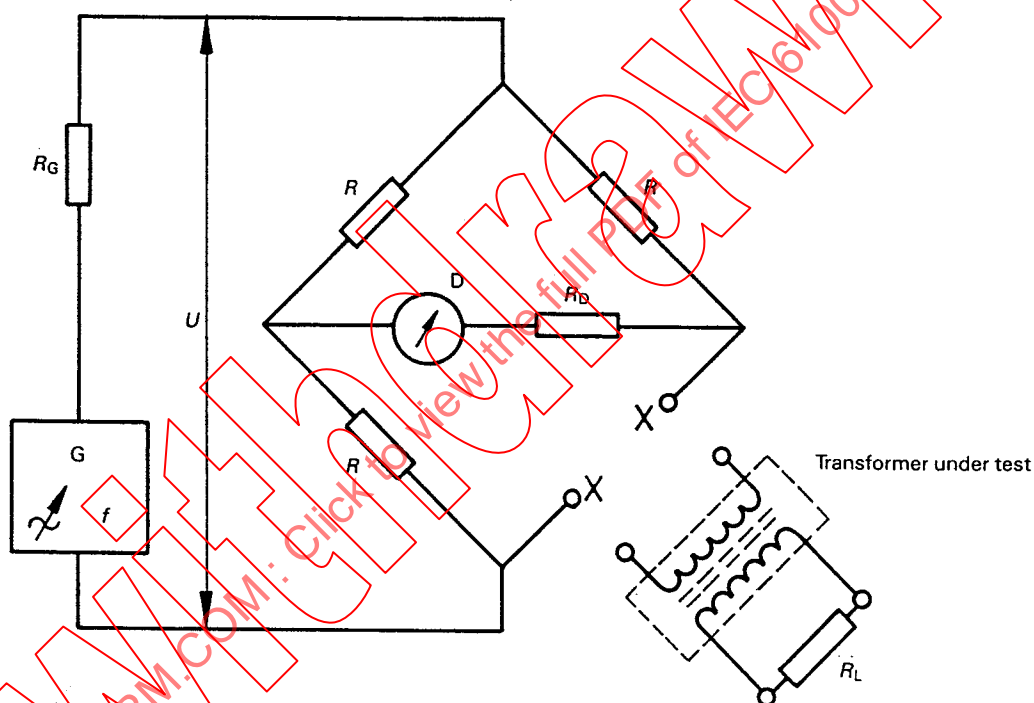
Hence the value of the return loss a_{rl} in decibels is given by:

$$a_{rl} = 20 \log \frac{R_L + R_G}{|R_L - R_G|}$$

Procedure: The basic bridge measurement circuit shown in figure 18 is set up with its elements equal to R_G and the source voltage U and source frequency f are set to the specified values. The initial bridge circuit loss registered on the calibrated decibelmeter D when the terminals X are either short-circuited or open-circuited is recorded. Let this loss be a_1 . The terminated transformer under test is then connected to the terminals X and the loss indicated by D again recorded. Let this loss be a_2 .

The return loss of the transformer a_{rl} in decibels is then given by the expression:

$$a_{rl} = a_2 - a_1$$



Resistors R are frequency independent and matched, relative to each other, to within $\pm 0,1 \%$.
 $R = R_G = R_D$ (= typically 600Ω).
 D is a decibel-meter, readily available for standard reference impedances such as 600Ω .

609/90

Figure 18 – Basic return loss test circuit

NOTES

- 1 The initial bridge circuit loss a_1 should be close to 12 dB; the measured value is subject to the accuracy of the bridge circuit elements, particularly the source and calibrated decibel-meter impedances.
- 2 Suitable commercial measuring instruments incorporating the necessary network to provide a direct measurement of return loss are in common use and may be used.

Informations à préciser:

- a) impédance en fonction de laquelle les pertes d'insertion doivent être mesurées, R ;
- b) branchement des enroulements;
- c) résistances de charge R_L ou impédances de charge Z_L ;
- d) tension(s) d'alimentation;
- e) fréquences de mesure;
- f) courant continu dans les enroulements de sortie, si requis.

4.4.10 Réponse en fréquence

Objet: Déterminer la réponse en fréquence d'un composant quand il est connecté entre une source et une impédance de charge déterminées.

Méthode: Le composant, avec sa source et ses impédances de charge spécifiées, est connecté dans un circuit de mesure de transmission dont la base est la même que celle qui est utilisée pour la mesure des pertes d'insertion indiquée en 4.4.9.1 (voir figure 15). Si cela est spécifié, les autres enroulements sont chargés et polarisés en courant continu. A la fréquence spécifiée de référence f_0 , l'atténuateur est ajusté jusqu'à ce que U_0 soit égal à U_L , selon les indications d'un voltmètre à fréquence sélective. La valeur indiquée par l'atténuateur est notée. La variation de la lecture de l'atténuateur nécessaire pour rendre U_0 égal à U_L à toute autre fréquence donne le gain ou la perte relative du composant à cette fréquence par rapport à la fréquence de référence. Un tracé de gain ou perte en fonction de la fréquence constitue la courbe de réponse en fréquence.

NOTE – Des précautions peuvent être exigées telles que présence d'écran, mise à la terre, suppression de réinjection par l'utilisation de self coaxiales, et des corrections peuvent être nécessaires pour s'assurer que la réponse calculée à partir de la lecture de l'atténuateur étalonné donne le même résultat que celui qui est défini par la formule suivante:

$$20 \log (U_f / U_{f_0})$$

où

U_f est la tension de sortie à la fréquence f , et

U_{f_0} est la tension de sortie à la fréquence de référence f_0 .

Informations à préciser:

- a) branchement du composant;
- b) impédance(s) de source;
- c) impédance(s) de charge;
- d) tension d'alimentation;
- e) fréquence de référence, f_0 ;
- f) bande de fréquences ou fréquences d'essai;
- g) courant de polarisation éventuel.

4.4.11 Caractéristiques en impulsion

Objet: Vérifier que, avec une impulsion spécifiée appliquée à l'enroulement d'entrée d'un transformateur, la forme d'onde de sortie correcte est obtenue quand le transformateur est connecté au circuit pour lequel il a été conçu.

Information to be stated:

- a) impedance against which the return loss is to be measured, R ;
- b) winding connections;
- c) load resistance R_L or impedance Z_L ;
- d) source voltage(s);
- e) measurement frequencies;
- f) d.c. current in output winding, if required.

4.4.10 Frequency response

Purpose: To determine the frequency response of a component when it is connected between specified source and load impedances.

Procedure: The component together with its specified source and load impedances shall be connected into a transmission measuring set, the basic circuit of which is the same as that used for the insertion loss measurement of 4.4.9.1 (see figure 15). If specified, other windings shall be loaded and polarizing d.c. applied. At the specified reference frequency, f_o , the attenuator shall be adjusted until U_o is equal to U_L as indicated by the frequency selective voltmeter. The attenuator reading shall be noted. The change in attenuator reading required to make U_o equal to U_L at any other frequency gives the relative gain or loss of the component at that frequency compared to the reference frequency. A plot of this gain (loss) against frequency constitutes a frequency response curve.

NOTE – Precautions such as screening, earthing and suppression of feedback by the use of co-axial chokes may be required, and corrections may be necessary to ensure that the response calculated from the reading of the calibrated attenuator gives the same result as determined from the following formula:

$$20 \log (U_f / U_{fo})$$

where

U_f is the output voltage at frequency f and

U_{fo} is the output voltage at the reference frequency f_o .

Information to be stated:

- a) component connections;
- b) source impedance(s);
- c) load impedance(s);
- d) source voltage;
- e) reference frequency f_o ;
- f) frequency band or test frequencies;
- g) polarizing current, if any.

4.4.11 Pulse characteristics

Purpose: To verify that, with a specified pulse applied to the input winding of a transformer, the correct output waveform is obtained when the transformer is connected to the circuit for which it was designed.

Méthode: L'impulsion d'entrée spécifiée est appliquée à l'enroulement d'entrée avec l'enroulement de sortie connecté aux charges spécifiées. L'impulsion obtenue dans la charge spécifiée est analysée sur un oscilloscope ayant une base de temps et une tension de déflexion calibrées. Les caractéristiques de l'oscilloscope et des circuits associés sont choisies de façon que l'impulsion observée ne soit pas déformée du fait de capacité excessive, d'une bande de fréquences insuffisante, etc.

Les mesures suivantes sont faites lorsqu'elles sont demandées par les spécifications concernées:

- a) mesure de l'amplitude de l'impulsion de crête, U_m ;
- b) mesure de la durée de l'impulsion, t_d ;
- c) mesure du temps de montée, t_r ;
- d) mesure du temps de descente, t_f ;
- e) chute de palier;
- f) dépassement;
- g) alternance inverse;
- h) alternance directe;
- i) temps de rétablissement.

Informations à préciser:

- a) amplitude de l'impulsion d'entrée, durée, temps de montée, temps de descente, chute de palier et fréquence de répétition;
- b) impédance(s) de charge;
- c) caractéristiques de l'impulsion de sortie à mesurer;
- d) température ambiante.

4.4.12 *Produit temps-tension caractéristique*

Objet: Vérifier que le produit temps-tension caractéristique d'un composant est dans les limites prévues (voir 3.7).

NOTE – Pour des applications impliquant des impulsions bidirectionnelles telles que des alimentations de puissance à découpage, le produit temps-tension n'est pas le même qu'avec des impulsions unidirectionnelles.

Méthode: Lorsque la température d'essai spécifiée diffère de la température ambiante, le composant est chauffé dans une étuve jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit obtenu à la température spécifiée.

Si les applications du transformateur nécessitent un courant continu dans l'un de ces enroulements, l'essai doit être réalisé avec des ampère-tours continus appliqués à travers une impédance adéquate pour éviter les effets de charge de l'impulsion.

Une impulsion de tension rectangulaire d'amplitude de crête, U_m , est alors appliquée à l'enroulement spécifié pendant une durée d'impulsion de t_d et le courant magnétisant correspondant est contrôlé. Un exemple de circuit d'essai adéquat est montré dans la figure 19. (Voir aussi l'article 16 et l'annexe M de la CEI 367-1.)

Procedure: The specified input pulse shall be applied to the input winding with the output windings connected to the specified loads. The pulse obtained in the specified load shall be displayed on an oscilloscope having a calibrated time base and voltage deflection. The characteristics of the oscilloscope and its associated circuits shall be such that the pulse being displayed is not degraded because of excessive capacitance, insufficient bandwidth, etc.

The following measurements shall be made as required by the relevant specification:

- a) peak pulse amplitude, U_m ;
- b) pulse duration, t_d ;
- c) pulse rise time, t_r ;
- d) pulse fall time, t_f ;
- e) pulse droop;
- f) overshoot;
- g) backswing;
- h) return backswing;
- i) recovery time.

Information to be stated:

- a) input peak pulse amplitude, duration, rise time, fall time, droop and repetition frequency;
- b) load impedance(s);
- c) output characteristics to be measured;
- d) ambient temperature.

4.4.12 Voltage-time product rating

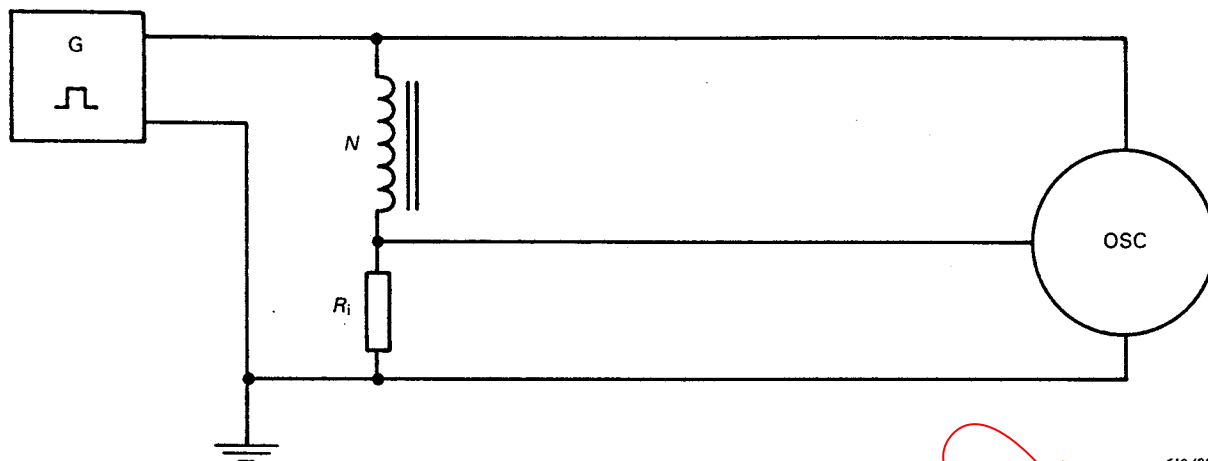
Purpose: To verify that the voltage-time product rating of a component (see 3.7) is within a stated limit.

NOTE – For applications involving bi-directional pulses, such as switched-mode power supplies, the voltage-time product will not be the same as for uni-directional pulses.

Procedure: When the specified test temperature differs from ambient, the component shall be heated in an oven until thermal equilibrium is obtained at the specified temperature.

If the transformer application involves a direct current in any of its windings the test shall be conducted with rated d.c. ampere-turns applied through a suitable impedance to prevent pulse-loading effects.

A rectangular voltage pulse of peak amplitude U_m shall then be applied to the specified winding for a pulse duration t_d and the corresponding magnetizing current monitored. An example of a suitable test circuit is shown in figure 19. (See also clause 16 and appendix M of IEC 367-1.)



R_i est une résistance de précision non réactive introduisant une chute de tension ne dépassant pas 1 % de U_m .

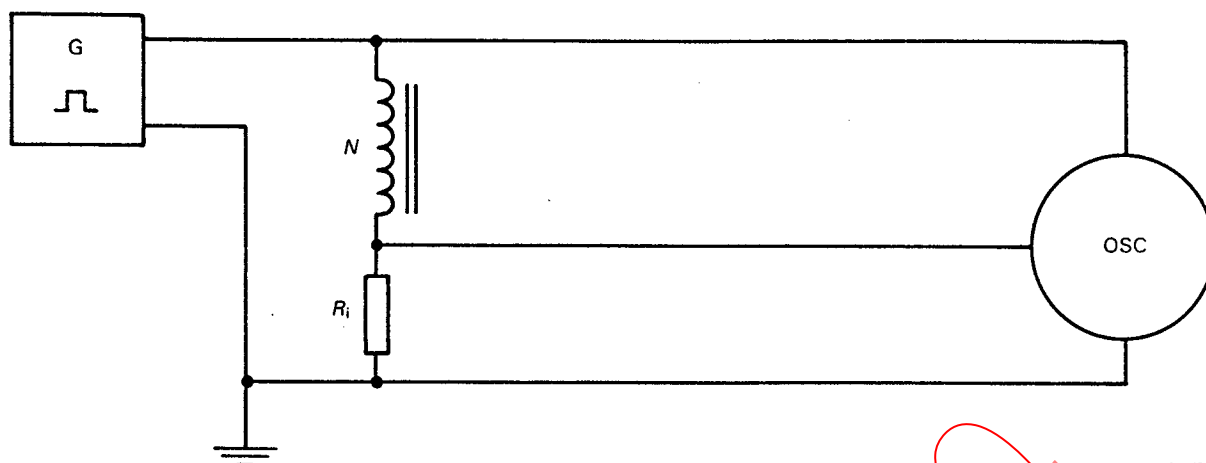
Figure 19 – Circuit pour la vérification du produit temps-tension caractéristique: mesure sans polarisation et avec des impulsions uniques

Exigence: Le courant magnétisant ne doit pas dépasser un pourcentage spécifié de la portion linéaire extrapolée de la forme d'onde du courant à l'instant t_d , c'est-à-dire que la non-linéarité du courant magnétisant ne doit pas excéder une valeur spécifiée (voir figure 20).

Informations à préciser:

- a) température de l'essai;
- b) amplitude de l'impulsion, U_m (en volts)*;
- c) durée de l'impulsion, t_d (s)*;
- d) si demandé, la valeur du courant continu superposé, sa polarité et les bornes entre lesquelles le courant continu doit circuler;
- e) la non-linéarité maximale permise pour le courant magnétisant.

* Selon le produit temps-tension prévu caractéristique du composant.



610/90

R_i is a precision non-reactive resistor causing a voltage drop not exceeding 1 % of U_m .

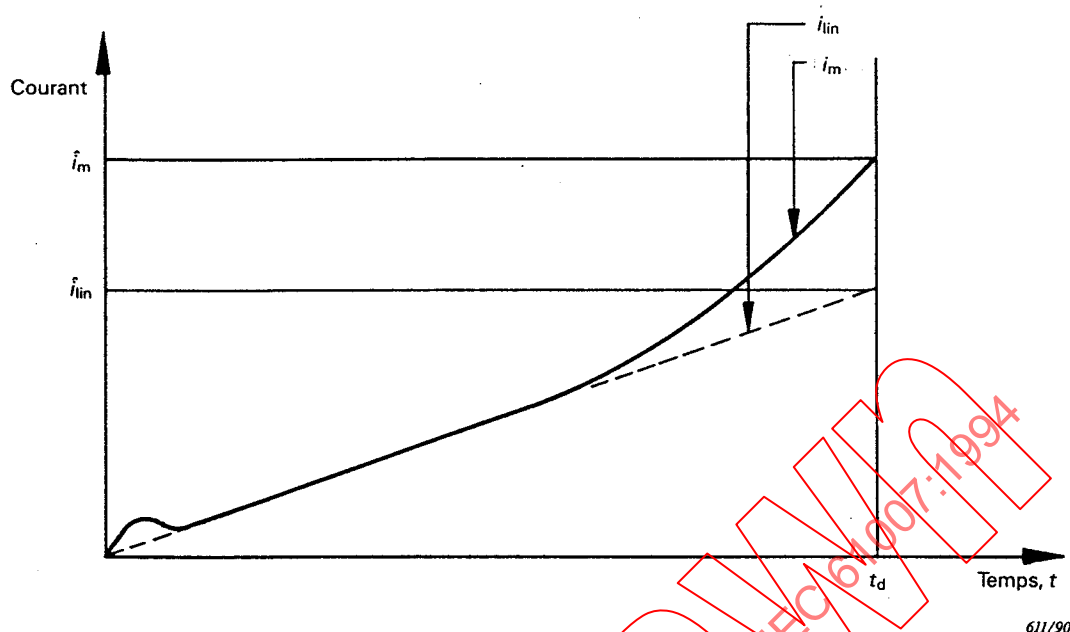
Figure 19 – Circuit for verifying voltage-time product rating: measurement without bias and with single pulses

Requirement: The magnetizing current shall not exceed a specified percentage of the extrapolated linear portion of the current waveform at time t_d , that is, the non-linearity of the magnetizing current shall not exceed a specified value (see figure 20).

Information to be stated:

- test temperature;
- pulse amplitude, U_m (volts)*;
- pulse duration, t_d (s)*;
- if required, the value of superimposed d.c., its polarity and the terminations between which the d.c. is to flow;
- maximum permissible non-linearity of magnetizing current.

* According to the stated voltage-time product rating for the component.



$$\text{Non-linéarité} = \frac{i_m}{i_{lin}} \times 100; \text{non-linéarité maximale} = \frac{i_m}{i_{lin}} \times 100$$

Figure 20 – Non-linéarité du courant magnétisant

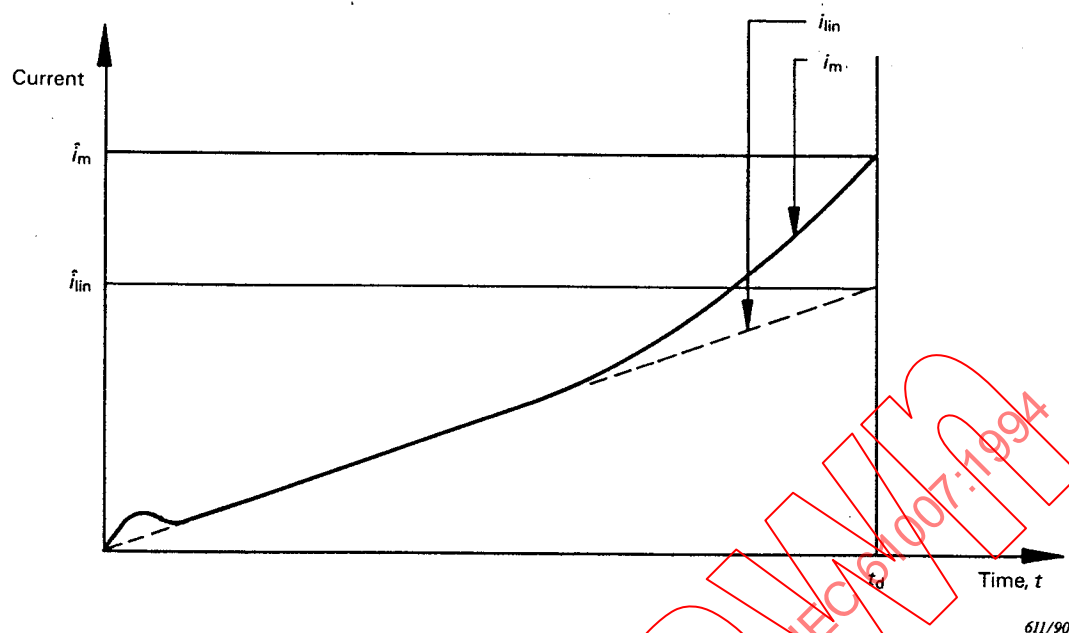
NOTE – Plusieurs impulsions peuvent être nécessaires pour obtenir l'état de magnétisation requis pour le transformateur. L'échauffement du circuit et du bobinage devra être évité.

4.4.13 Distorsion harmonique totale

Objet: Vérifier que la distorsion harmonique produite par le composant quand il est associé avec sa source et ses impédances de charge spécifiées n'excède pas les limites spécifiées.

Méthode: Une tension de fréquence spécifiée est appliquée de telle manière que les conditions de sortie spécifiées soient remplies. La valeur des harmoniques totaux de la source sera au moins dix fois inférieure à l'ordre de grandeur de ceux de la limite spécifiée pour la sortie. Quand cela est spécifié, le courant continu approprié doit aussi traverser les enroulements appropriés pendant l'essai. La distorsion harmonique totale est alors déterminée par:

- soit l'emploi d'un équipement donnant une lecture directe de la distorsion harmonique;
- soit la mesure de tous les harmoniques significatifs jusqu'à et y compris le septième suivi du calcul de la distorsion harmonique totale par l'application de la formule suivante:



$$\text{Non-linearity} = \frac{i_m}{i_{lin}} \times 100; \text{ maximum non-linearity} = \frac{i_m - i_{lin}}{i_{lin}} \times 100$$

Figure 20 – Non-linearity of magnetizing current

NOTE – Several pulses might be necessary to obtain the required magnetic state of the transformer. Self-heating of core and winding should be avoided.

4.4.13 Total harmonic distortion

Purpose: To verify that the harmonic distortion produced by the component when associated with its specified source and load impedances does not exceed the specified limits.

Procedure: A voltage at the specified frequency shall be applied such that the specified output is achieved. The total harmonic content of the supply shall be at least ten times less than the output limit specified. When specified the appropriate direct current shall also be passed through the appropriate winding during the test. The total harmonic distortion shall then be determined by the use of either:

- harmonic distortion measuring equipment giving a direct reading of total harmonic distortion, or
- by the measurement of all significant harmonic voltages up to and including the seventh followed by the computation of total harmonic distortion from the following expression:

$$\left(\sum_2^7 U_{f_n}^2 \right)^{1/2} \times \frac{100}{U_{f_1}} \%$$

où

f_1 est la fréquence d'alimentation du fondamental;

f_n est la fréquence du nième harmonique de la source;

U_{f_n} est la tension à chacune des fréquences particulières harmoniques.

NOTE – La distorsion harmonique totale peut aussi être exprimée en décibels par rapport au fondamental.

Informations à préciser:

- a) impédance de source;
- b) impédance de charge;
- c) fréquence d'alimentation;
- d) tension de sortie à la fréquence d'alimentation;
- e) courant de polarisation (s'il y en a).

4.4.14 Régulation de tension

Objet: Etablir l'étendue des variations de tension d'un enroulement spécifié entre les conditions de fonctionnement à vide et celles où les enroulements de sortie sont simultanément chargés à pleine charge.

Méthode: Les enroulements d'entrée spécifiés sont alimentés à la fréquence et à la tension assignées; la tension aux bornes de chaque enroulement est mesurée quand tous les enroulements sont en circuit ouvert. La charge spécifiée est appliquée pendant la période spécifiée ou, en l'absence de précision, jusqu'à ce que la stabilité thermique soit acquise. La tension aux bornes de chaque enroulement est mesurée pendant que les enroulements travaillent à pleine charge. Le pourcentage de tension de régulation doit être calculé pour chaque enroulement de sortie en utilisant la formule suivante:

$$\frac{U_a - U_b}{U_a} \times 100$$

où

U_a est la tension aux bornes de l'enroulement sans charge;

U_b est la tension d'un enroulement avec charge.

La régulation de tension doit se situer dans les limites spécifiées durant et à la fin de l'essai.

Informations à préciser:

- a) conditions d'alimentation;
- b) conditions de charge des enroulements de sortie;

$$\left(\sum_2^7 U_{f_n}^2 \right)^{1/2} \times \frac{100}{U_{f_1}} \%$$

where

f_1 is the fundamental supply frequency;

f_n is the nth harmonic frequency of the supply;

U_{f_n} is the voltage at any particular harmonic frequency.

NOTE – The total harmonic distortion may also be expressed in decibels relative to the fundamental.

Information to be stated:

- a) source impedance;
- b) load impedance;
- c) supply frequency;
- d) output voltage at supply frequency;
- e) polarizing current (if any).

4.4.14 Voltage regulation

Purpose: To establish the extent of voltage variation on specified winding(s) from the no-load condition to that at which the output winding(s) are simultaneously carrying the full load current.

Procedure: The specified input windings shall be energized at the rated voltage and frequency and the voltage across each winding shall be measured when all output windings are open-circuited. The specified loading shall be applied for the specified period or, in the absence of a statement, until thermal stability is achieved. The voltage across each winding shall be measured while the output windings are carrying their specified load currents. The percentage voltage regulation shall be calculated for each output winding using the following formula:

$$\frac{U_a - U_b}{U_a} \times 100$$

where

U_a is the voltage across the winding without load;

U_b is the voltage across the winding with load connected.

The voltage regulation shall be within the specified limits during and at the end of the test.

Information to be stated:

- a) input supply condition;
- b) output winding(s) load conditions;

- c) durée de l'essai;
- d) détails du cycle réel de fonctionnement s'il est autre que continu;
- e) conditions atmosphériques si elles sont différentes de la normale;
- f) détails du montage si une surface non thermiquement conductrice n'est pas utilisée;
- g) limites de la tension de régulation durant et à la fin de l'essai.

4.4.15 *Élévation de température*

NOTE – Les essais suivants servent à prouver l'aptitude des composants produits en série. Une sonde thermique (voir 4.4.16) peut être utilisée, si nécessaire, comme méthode de remplacement pour les composants en développement.

4.4.15.1 *Méthode utilisant la variation de la résistance en courant continu d'un enroulement*

Objet: Déterminer l'élévation moyenne de température d'un composant quand il est soumis à un cycle de fonctionnement continu dans un environnement spécifié.

Méthode: Le composant en cours d'essai sera alimenté et chargé comme cela est spécifié dans la spécification particulière. La résistance en courant continu de l'enroulement spécifié est déterminée comme dans la méthode 4.4.1.1.

Quand la stabilité thermique est atteinte, c'est-à-dire quand aucun changement dans la source d'alimentation n'excède 2 % pendant une période continue de 15 min, l'alimentation et la charge sont déconnectées et les résistances en courant continu sont mesurées de nouveau comme dans 4.4.1.1 dans le minimum de temps. Ce minimum de temps est nécessaire pour s'assurer que la résistance mesurée correspond aussi fidèlement que possible à la température la plus haute atteinte par le composant durant son fonctionnement en charge. Si cela est demandé, une courbe de refroidissement est établie et extrapolée jusqu'au temps 0 pour établir R_2 à l'instant de la déconnexion.

L'élévation de température de l'enroulement est calculée par la formule suivante:

$$\theta_r = \frac{R_2}{R_1} (\theta_s + k) - (\theta_f + k)$$

où

θ_s est la température ambiante au début de l'essai (en °C);

θ_f est la température ambiante à la fin de l'essai (en °C);

θ_r est l'élévation de température de l'enroulement (en °C);

R_1 est la résistance de l'enroulement immédiatement avant l'alimentation (en Ω);

R_2 est la résistance de l'enroulement immédiatement après le débranchement de la source d'alimentation (en Ω);

k est fonction du coefficient thermique de résistivité. La valeur pour le cuivre sera prise à 234,5, et pour l'aluminium à 228,1 pour les besoins de la présente norme.

Informations à préciser:

- a) informations prévues par a) et b) de 4.4.1.1;

- c) duration of test;
- d) details of duty cycle if other than continuous;
- e) atmospheric conditions if other than standard;
- f) details of mounting if other than on a thermally non-conducting surface;
- g) voltage regulation limits during and at the end of the test.

4.4.15 Temperature rise

NOTE – The following tests are intended for proving the performance of series production components. A thermal probe (see 4.4.16) may be used, if required, as an alternative method for development items.

4.4.15.1 Method utilizing the change in d.c. resistance of a winding

Purpose: To determine the mean temperature rise of a component when it is subjected to a continuous duty cycle in a specified environment.

Procedure: The component under test shall be energized and loaded as specified in the detail specification. The d.c. resistance of the specified winding(s) shall be determined as in 4.4.1.1.

When thermal stability is achieved – i.e. when any change in input power does not exceed 2 % during a continuous period of 15 min. the power supply and load shall be disconnected and the d.c. resistance remeasured as in 4.4.1.1 with minimum delay. Minimum delay is necessary to ensure that the resistance measurement represents as closely as possible the highest temperature reached by the component during its operation under load. If required a cooling curve shall be developed and extrapolated back to establish the resistance R_2 at the instant of disconnection.

The temperature rise of the winding(s) shall be calculated using the following formula:

$$\theta_r = \frac{R_2}{R_1} (\theta_s + k) - (\theta_f + k)$$

where

- θ_s is the ambient temperature at start of test (in °C);
- θ_f is the ambient temperature at end of test (in °C);
- θ_r is the winding temperature rise (in °C);
- R_1 is the winding resistance immediately before energization (in Ω);
- R_2 is the winding resistance immediately after disconnection of the energizing source (in Ω);
- k is related to the thermal coefficient of resistivity: the value for copper shall be taken as 234,5 and for aluminium as 228,1 for the purpose of this standard .

Information to be stated:

- a) information required by a) and b) of 4.4.1.1;

- b) pour les matériaux conducteurs autres que le cuivre et l'aluminium, la valeur appropriée de la constante k ;
- c) les détails de montage;
- d) l'environnement;
- e) conditions d'alimentation appropriées:
 - 1) tension et fréquence,
 - 2) largeur d'impulsion et fréquence de répétition,
 - 3) courant continu de polarisation, tension et fréquence d'ondulation;
- f) charge(s) en sortie.

NOTE – Dans certains cas, la spécification de la charge à adapter peut nécessiter de donner des informations plus détaillées telles que des schémas du circuit et des valeurs associées au composant.

4.4.15.2 *Méthode utilisant des enroulements bifilaires additionnels en opposition*

Objet:

- a) mesurer l'élévation de la température sans interruption de l'alimentation;
- b) mesurer le taux de l'élévation de la température.

Méthode: Un enroulement bifilaire est enroulé ou appliqué sur le composant avec ses deux parties connectées en série et en opposition. La résistance en courant continu de cet enroulement doit être mesurée comme en 4.4.1.1 et l'élévation de température doit être déterminée comme en 4.4.15.1.

NOTES

- 1 Cette méthode peut être utilisée quand il y a un circuit libre accessible ou une surface d'enroulement sur laquelle un enroulement bifilaire convenable peut être placé.
- 2 L'application d'une isolation thermique sur l'enroulement bifilaire peut permettre l'estimation de la température interne du composant.
- 3 Cette méthode peut être utilisée pour l'évaluation de prototypes en introduisant un enroulement bifilaire entre les enroulements de fonctionnement du composant.
- 4 Des courants de Foucault peuvent affecter la mesure; si cela se produit, un écart entre la puissance d'entrée et la puissance de sortie peut être enregistré dans les résultats d'essai. Si une différence est notée on utilise le résultat à partir d'un essai à vide.

Informations à préciser:

- a) détails de l'enroulement bifilaire additionnel incluant sa position;
- b) détails de l'isolation thermique si elle est demandée;
- c) autres informations comme dans 4.4.15.1.

4.4.16 *Température de surface*

Objet: Déterminer la température de surface d'un transformateur ou d'une inductance soumis à une charge continue dans un environnement spécifié dans la spécification particulière.

Méthode: Les conditions d'essai et les procédures données en 4.4.15.1 sont appliquées jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit atteint c'est-à-dire jusqu'à ce qu'aucun changement de puissance d'entrée n'excède 2 % durant une période donnée de 15 min.

- b) for conductor materials other than copper or aluminium the appropriate value of the constant k ;
- c) mounting details;
- d) environment;
- e) input supply conditions as appropriate:
 - 1) voltage and frequency,
 - 2) pulse duration and repetition frequency,
 - 3) polarizing current, ripple voltage and frequency;
- f) output load(s).

NOTE – In some cases, adequate specification of loading may necessitate more detailed information, such as circuit diagrams and associated component values.

4.4.15.2 Method using an additional series-opposing bifilar winding

Purpose:

- a) to measure temperature rise without interruption of power;
- b) to measure rate of temperature rise.

Procedure: A bifilar winding is wound on or applied to the component with its two parts connected in series - opposition. The d.c. resistance of this winding shall be measured as in 4.4.1.1 and the temperature rise determined as in 4.4.15.1.

NOTES

- 1 This method may be used when there is an accessible free core or winding surface on which a suitable bifilar winding can be placed.
- 2 The application of thermal insulation to the bifilar winding may enable an estimate of internal component temperatures to be obtained.
- 3 This method may be adapted to the evaluation of prototypes by installing the bifilar winding between the functional windings of the component.
- 4 Where the observed resistance varies, according to whether the component under test is energized or not, the reading corresponding to absence of power should be used. The difference between the two conditions is attributable to eddy current effects.

Information to be stated:

- a) details of additional bifilar winding, including position;
- b) details of thermal insulation if required;
- c) other information as in 4.4.15.1.

4.4.16 Surface temperature

Purpose: To determine the surface temperature of a transformer or inductor subjected to a continuous load within an environment specified in the detail specification.

Procedure: The conditions of test and procedures of 4.4.15.1 of this standard shall be applied until thermal equilibrium is achieved; i.e. until any change in input power does not exceed 2 % during a continuous period of 15 min.

La température de surface est alors mesurée avec une sonde thermique de faible conductivité thermique et de faible poids au point spécifié de la surface du composant.

La température de surface est enregistrée.

NOTES

- 1 La température maximale de surface peut être déterminée par balayage de la surface du composant.
- 2 Les valeurs mesurées peuvent être affectées par:
 - a) la résistance thermique entre la sonde et la surface du composant;
 - b) les champs électromagnétiques auxquels certaines sondes sont sensibles.

AVERTISSEMENT – Risques de choc électrique. Il faut veiller à ce que l'opérateur de la sonde soit isolé électriquement et physiquement des parties actives ou conductrices du composant en essai.

Informations à préciser:

- a) informations prévues par les points c), d), e) et f) de 4.4.15.1;
- b) température maximale de surface;
- c) points spécifiques de la surface à mesurer prescrits par le client.

4.4.17 Vérification des phases

Objet: Vérifier que les phases relatives aux enroulements sont correctes les unes par rapport aux autres.

Méthode 1: Les enroulements dont il faut vérifier les phases relatives sont connectées en série. Une alimentation de tension et de fréquence appropriées est connectée à un des enroulements en essai. La tension est mesurée dans chaque enroulement et dans l'ensemble en série qu'ils forment.

La somme des tensions de chaque enroulement est comparée à celle de l'ensemble en série.

Pour des enroulements assemblés correctement avec les phases (polarités) comme indiquées en figure 21, la relation suivante est vraie:

$$U_3 = U_1 + U_2$$

Pour des enroulements avec des polarités en opposition:

$$U_3 = |U_1 - U_2|$$

The surface temperature shall then be measured with a thermal probe of low thermal conductivity and mass at a specified point on the component surface.

The surface temperature shall be recorded.

NOTES

- 1 The maximum surface temperature may be determined by scanning the component surface.
- 2 Measured values may be affected by:
 - a) the thermal resistance between probe and component surface;
 - b) electromagnetic fields, to which some probes are sensitive.

WARNING – Electrical shock hazard. Precautions must be taken physically and electrically to isolate the operator of the thermal probe from live or conducting parts of the component under test.

Information to be stated:

- a) information required by items c), d), e) and f) of 4.4.15.1;
- b) maximum surface temperature;
- c) specific points of measurement required by the customer.

4.4.17 Phase test (polarity)

Purpose: To establish that the windings are of the correct phase relative to one another.

Procedure 1: The windings whose relative phases are to be examined are connected in series. A supply of suitable voltage and frequency is connected to one of the test windings, and voltage measurements are made across the individual windings and their series assembly.

The addition of the voltages across the individual windings is compared with the voltage across the combined series winding.

For windings properly assembled with the phases (polarities) shown in figure 21, the following relationship is true:

$$U_3 = U_1 + U_2$$

For windings with opposite polarity:

$$U_3 = |U_1 - U_2|$$

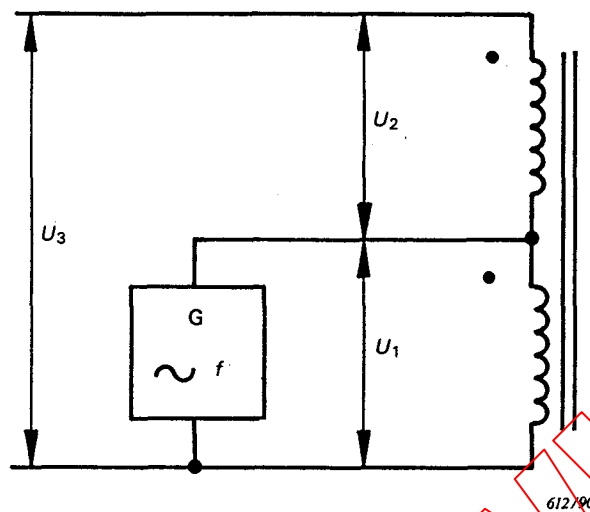


Figure 21 – Vérification des phases par mesure des tensions

Informations à préciser:

- a) bornes à connecter ensemble;
- b) bornes entre lesquelles la phase doit être déterminée.

Méthode 2: Le circuit en pont et les procédures associées, définies dans la méthode 2 de 4.4.7.1, sont utilisées. Vérifier la phase relative des enroulements à essayer.

NOTES

- 1 Une polarité incorrecte de AB par rapport à BC se traduira soit par un équilibre à une valeur de P:Q différente de celle qui est spécifiée ou par l'impossibilité de réaliser l'équilibre (voir figure 11).
- 2 Cette méthode peut ne pas être utilisable pour certains composants polyphasés.

Informations à préciser:

- a) branchements de l'enroulement donnant la polarité correcte de l'enroulement AB par rapport à l'enroulement BC;
- b) limites du rapport de transformation de la tension;
- c) la fréquence et la tension de l'essai;
- d) si requis, les valeurs approximatives de R_1 et R_2 .

Méthode 3: Les enroulements dont les phases relatives sont examinées sont connectés en série, comme cela est spécifié, et l'inductance de l'ensemble est mesurée par un pont approprié (voir 4.4.4.1).

Le résultat de cette mesure est comparé avec la somme des valeurs des inductances de chaque enroulement déterminées individuellement par le même pont.