

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61007:2020



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.100.10; 29.180

ISBN 978-2-8322-8620-3

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
4 Test procedures	13
4.1 Test and measurement conditions.....	13
4.1.1 General	13
4.1.2 Measurement uncertainty.....	16
4.1.3 Alternative test methods	16
4.2 Visual inspection.....	16
4.2.1 General	16
4.2.2 Safety screen position	16
4.2.3 Quality of joints	16
4.3 Dimensioning and gauging procedure.....	19
4.4 Electrical test procedures	19
4.4.1 Winding resistance	19
4.4.2 Insulation tests.....	20
4.4.3 Losses.....	23
4.4.4 Inductance.....	27
4.4.5 Unbalance	27
4.4.6 Capacitance	32
4.4.7 Transformation ratios.....	35
4.4.8 Resonant frequency	41
4.4.9 Signal transfer characteristics	42
4.4.10 Cross-talk.....	46
4.4.11 Frequency response.....	47
4.4.12 Pulse characteristics.....	48
4.4.13 Voltage-time product rating.....	49
4.4.14 Total harmonic distortion.....	50
4.4.15 Voltage regulation	51
4.4.16 Temperature rise.....	52
4.4.17 Surface temperature	53
4.4.18 Polarity	54
4.4.19 Screens	56
4.4.20 Noise	57
4.4.21 Corona tests	58
4.4.22 Magnetic fields.....	58
4.4.23 Inrush current	61
4.5 Environmental test procedures.....	61
4.5.1 General.....	61
4.5.2 Soldering.....	61
4.5.3 Robustness of terminations and integral mounting devices	61
4.5.4 Shock	61
4.5.5 Bump.....	62
4.5.6 Vibration (sinusoidal)	62
4.5.7 Acceleration, steady state.....	62
4.5.8 Rapid change of temperature (thermal shock in air).....	62

4.5.9	Sealing	62
4.5.10	Climatic sequence	62
4.5.11	Damp heat, steady state	62
4.5.12	Dry heat	63
4.5.13	Mould growth	63
4.5.14	Salt mist, cyclic (sodium chloride solution)	63
4.5.15	Sulphur dioxide test for contacts and connections	63
4.5.16	Fire hazard	63
4.5.17	Immersion in cleaning solvents	63
4.6	Endurance test procedures	63
4.6.1	Short-term endurance (load run)	63
4.6.2	Long-term endurance (life test)	64
Annex A	(normative) DC resistance test	65
A.1	General	65
A.2	Resistance values under 1 Ω – Kelvin double-bridge method	65
A.3	Resistance values from 1 Ω to many kilo-ohms	66
A.3.1	General	66
A.3.2	Ammeter and voltmeter method	66
A.3.3	Substitution method	67
A.3.4	Wheatstone bridge	68
A.3.5	Ohmmeter	69
A.4	Digital ohmmeter – Resistance values from under 1 Ω to many kilo-ohms	70
Annex B	(normative) Dielectric voltage withstand test	71
Annex C	(normative) Induced voltage test	73
C.1	Induced voltage test	73
C.2	General test conditions	73
C.3	General test methods	73
C.4	Induced excitation voltage and frequency	75
C.5	Repeated induced voltage testing	75
C.6	Excitation current	75
Annex D	(normative) No-load loss	76
D.1	General	76
D.2	Excitation waveform	76
D.2.1	General	76
D.2.2	Sine-voltage (sine-flux) excitation	76
D.2.3	Sine-current excitation	77
D.2.4	Square-wave voltage excitation	77
D.3	Test method and instrumentation	78
D.3.1	General	78
D.3.2	Wattmeter	78
D.3.3	Ammeters	79
D.3.4	Voltmeters	79
D.4	Test specifications and results	79
Annex E	(normative) Quality factor, Q	80
E.1	General	80
E.2	Accuracy	80
E.3	Generators	80
E.3.1	Signal generator	80

E.3.2	Pulse generator	80
E.3.3	Antenna	80
E.4	Capacitor	81
E.5	Measuring circuit.....	81
E.5.1	Oscilloscope	81
E.5.2	Probe	81
E.6	Measuring procedure	81
E.7	Calculation.....	82
Annex F (normative)	Electrostatic shielding	84
F.1	Symbols.....	84
F.2	Theoretical discussion	86
F.3	Measurement methods.....	87
F.3.1	Indirect method.....	87
F.3.2	Direct method	88
Annex G (normative)	Corona test.....	89
G.1	Detection of corona.....	89
G.2	Analysis of corona	89
G.3	Test conditions and specifications.....	90
Bibliography		91
Figure 1	– Pulse waveform parameters	11
Figure 2	– Examples of good solder joints.....	17
Figure 3	– Examples of defective joints.....	18
Figure 4	– No-load current test schematic.....	24
Figure 5	– No-load loss test schematic	24
Figure 6	– Simplified diagram for short-circuit power test	26
Figure 7	– Circuit for measuring capacitance unbalance	28
Figure 8	– Circuit for determining common mode rejection ratio	28
Figure 9	– Circuit for measuring impedance unbalance	29
Figure 10	– Circuit for determining cross-talk attenuation.....	30
Figure 11	– Schematic diagram of phase unbalance and amplitude unbalance	32
Figure 12	– Typical graph for determining self-capacitance.....	34
Figure 13	– Circuit for determining inter-winding capacitance	35
Figure 14	– Circuit for measurement of voltage transformation ratio.....	38
Figure 15	– Circuit for measuring current transformation ratio and phase displacement	39
Figure 16	– Measuring circuit of current transformation ratio and phase displacement	40
Figure 17	– Circuit for determining parallel self-resonant frequency	41
Figure 18	– Circuit for determining resonant frequency of resonant assemblies	42
Figure 19	– Circuit for determination of insertion loss	43
Figure 20	– Use of two identical transformers when the transformation ratio is not unity and/or a DC bias is required	44
Figure 21	– Illustration of return loss.....	45
Figure 22	– Basic return loss test circuit	46
Figure 23	– Circuit diagram for measuring the crossover interference between two transformer coils.....	47
Figure 24	– Impulse waveform measuring circuit.....	49

Figure 25 – Non-linearity of magnetizing current	50
Figure 26 – Voltage regulation test schematic	51
Figure 27 – Phase (polarity) test using voltage measurement	54
Figure 28 – Series connection method	55
Figure 29 – Helmholtz structure	59
Figure A.1 – Measurement of low resistance	65
Figure A.2 – Kelvin double-bridge method of measuring low resistance	66
Figure A.3 – Ammeter and voltmeter method of resistance measurement	67
Figure A.4 – Measurement of resistance by substitution	68
Figure A.5 – Connections of Wheatstone bridge	68
Figure A.6 – Principle of series ohmmeter	69
Figure A.7 – Digital ohmmeter method of resistance measurement	70
Figure B.1 – Typical high-potential test, showing section 1 under test	71
Figure B.2 – Typical high-potential test of inductor	71
Figure C.1 – Block diagram of induced voltage surge test	73
Figure D.1 – Triangular flux-density variation in transformer core	78
Figure D.2 – Test circuit for transformer no-load losses	78
Figure E.1 – Damped oscillation method	80
Figure E.2 – Oscilloscope sweep for damped oscillation method	82
Figure F.1 – Shielded single winding, core floating	84
Figure F.2 – Basic electrostatic symbol	84
Figure F.3 – Multiple-shielded single winding, core terminal (lead) provided	84
Figure F.4 – Shielded two-winding secondary, core grounded	85
Figure F.5 – Shielded group of windings, core floating	85
Figure F.6 – Multiple-shielded group of windings, core terminal (lead) provided	85
Figure F.7 – Combination of shielding conditions	86
Figure F.8 – Typical two-winding shielded transformer	86
Figure F.9 – Simplified representation of Figure F.8	86
Figure F.10 – Indirect measuring method for electrostatic shielding	87
Figure G.1 – Typical circuit for corona measurement (circuit 1)	89
Figure G.2 – Typical circuit for corona measurement (circuit 2)	90
Table 1 – Recommended tests and specifications for specific transformer and inductor groups	14
Table 2 – Voltage of dielectric withstanding voltage test	20
Table 3 – Sound-level corrections for audible noise tests	57
Table 4 – Cube dimensions, together with corresponding search coil data	60

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61007 has been prepared by IEC technical committee 51: Magnetic components, ferrite and magnetic powder materials.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 1994. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) scope: the application of the scope of IEC 61007 was extended;
- b) Clause 2: added new references and updated the references;
- c) Clause 3: new definitions were added in 3.3, and in 3.7 the voltage-time product was redefined;

d) test procedures were updated:

1) addition of test method:

AC resistance (in 4.4.1.2); short-circuit power test (in 4.4.3.4); efficiency (in 4.4.3.5); phase unbalance (in 4.4.5.7); amplitude unbalance (radio frequency) (in 4.4.5.8); transformation ratio by impedance (in 4.4.7.1); coefficient of coupling (in 4.4.7.2); cross-talk (in 4.4.10);

2) modification of test method:

Insulation resistance (an error range of the testing voltage, in 4.4.2.3);

3) deletion of test method:

Effective resistance;

e) environmental test procedures: new references were added;

f) Annexes A to G were added.

The text of this International Standard is based on the following documents:

CDV	Report on voting
51/1319/CDV	51/1339/RVC

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

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

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

1 Scope

This document describes a number of tests for use in determining the significant parameters and performance characteristics of transformers and inductors for use in electronics and telecommunication equipment. These test methods are designed primarily for transformers and inductors used in all types of electronics applications that can be involved in any specification for such components. Even though these tests can be useful to the other types of transformers used in power distribution applications in utilities, industry, and others, the tests discussed in this document can supplement or complement the tests but are not intended to replace the tests in standards for transformers. Some of the tests described are intended for qualifying a product for a specific application, while others are test practices used for manufacturing and customer acceptance testing. The test methods described here include those parameters most commonly used in the electronics transformer and inductor industry: electric strength, resistance, power loss, inductance, impedance, balance, transformation ratio and many others used less frequently.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)* (available at www.electropedia.org)

IEC 60068-1: 2013, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-1, *Environmental testing – Part 2-1: Tests – Tests A: Cold*

IEC 60068-2-2, *Environmental testing – Part 2-2: Tests – Tests 8: Dry heat*

IEC 60068-2-6, *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-7, *Basic environmental testing procedures – Part 2-7: Tests – Test Ga and guidance: Acceleration, steady state*

IEC 60068-2-10, *Environmental testing – Part 2-10: Tests – Test J and guidance: Mould growth*

IEC 60068-2-13, *Basic environmental testing procedures – Part 2-13: Tests – Test M: Low air pressure*

IEC 60068-2-14, *Environmental testing – Part 2-14: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-17, *Basic environmental testing procedure – Part 2-17: Tests – Test Q: Sealing*

IEC 60068-2-20, *Environmental testing – Part 2-20: Tests – Test T: Test methods for solderability and resistance to soldering heat of devices with leads*

IEC 60068-2-21, *Environmental testing – Part 2-21: Tests – Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices*

IEC 60068-2-27, *Environmental testing – Part 2-27: Tests – Test Ea and guidance: Shock*

IEC 60068-2-30, *Environmental testing – Part 2-30: Tests – Test Db: Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle)*

IEC 60068-2-42, *Environmental testing – Part 2-42: Tests – Test Kc: Sulphur dioxide test for contacts and connections*

IEC 60068-2-45, *Basic environmental testing procedures – Part 2-45: Tests – Test XA and guidance: Immersion in cleaning solvents*

IEC 60068-2-52, *Environmental testing – Part 2-52: Tests – Test Kb: Salt mist, cyclic (sodium chloride solution)*

IEC 60068-2-78, *Environmental testing – Part 2-78: Tests – Test Cab: Damp heat, steady state*

IEC 60270, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

IEC 60695-11-2, *Fire hazard testing – Part 11-2: Test flames – 1 kW pre-mixed flame – Apparatus, confirmatory test arrangement and guidance*

IEC 60695-11-5, *Fire hazard testing – Part 11-5: Test flames – Needle-flame test method – Apparatus, confirmatory test arrangement and guidance*

IEC 61672-1, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050 (all parts) and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electromedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1

component

transformer or inductor

3.2

peak working voltage

maximum instantaneous voltage for which the winding insulation is rated under working circuit conditions

3.3

pulse wave form parameters (see Figure 1)

3.3.1

peak pulse amplitude

U_m

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

3.3.2

pulse duration

t_d

time interval between the first and last instant at which the pulse amplitude equals 50 % of the peak pulse amplitude

3.3.3

pulse rise time

t_r

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 an unwanted or irrelevant portion of the waveform

3.3.4

pulse fall time

t_f

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 1 to entry: Where the value of the droop approaches 10 % of the peak pulse amplitude, the upper point defining fall time can be replaced by the last instant at which the pulse amplitude reaches 80 % of the peak pulse amplitude.

3.3.5

droop

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

3.3.6

pulse crest

maximum amplitude of the pulse

3.3.7

overshoot

amount by which the pulse crest exceeds the peak pulse amplitude, expressed as a percentage of the peak pulse amplitude

3.3.8

backswing

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

3.3.9

return backswing

maximum amplitude of the swing that follows the backswing, expressed as a percentage of the peak pulse amplitude

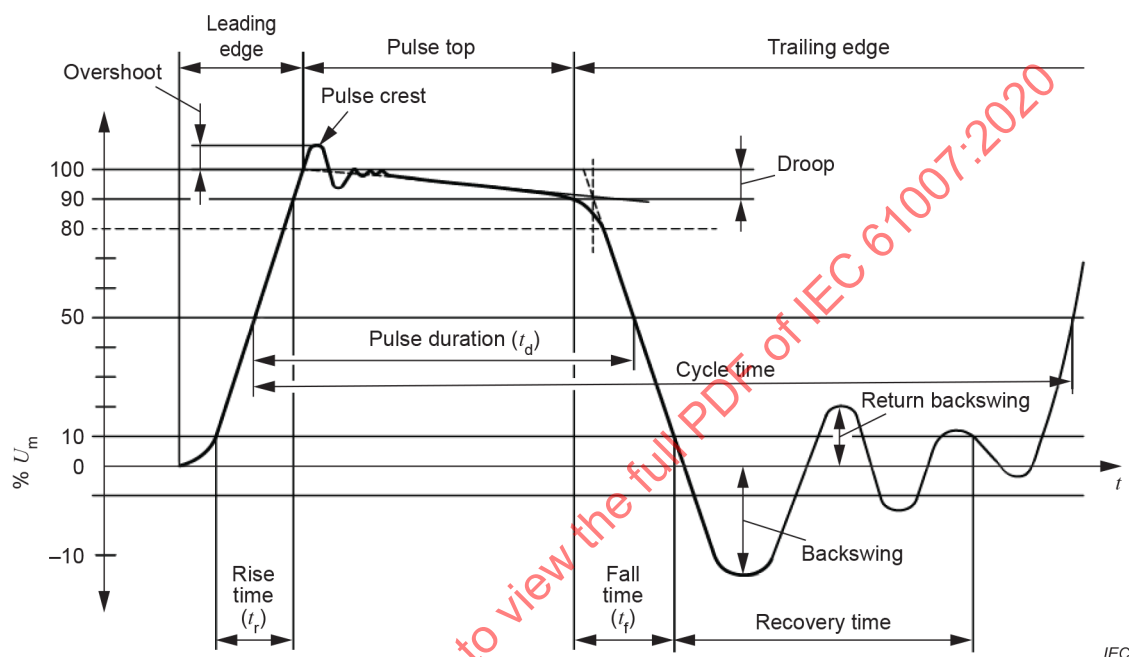
3.3.10 recovery time

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

Note 1 to entry: Exceptionally, a value of less than 10 % may be used, in which case the interval is termed "the X % recovery time".

3.3.11 pulse repetition frequency

average number of pulses in unit time independent of the period over which it is measured



Leading edge: the interval between the first instant at which the pulse amplitude begins and the first instant at which the pulse amplitude reaches the peak pulse amplitude.

Pulse top: the interval between the first instants at which the pulse amplitude equals the peak pulse amplitude and the last instants at which the pulse amplitude equals 90 % of the peak pulse amplitude.

Trailing edge: the interval between the last instants at which the pulse amplitude equals 90 % of the peak pulse amplitude and the first instants at which the pulse amplitude of the second cycle begins.

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

Figure 1 – Pulse waveform parameters

3.4 quality factor

Q factor

ratio of the energy stored to the energy dissipated during one cycle at a particular frequency in a specified winding

Note 1 to entry: The Q factor is expressed in terms of either the series or the parallel components of reactance and loss resistance.

3.5 harmonic distortion

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

mean temperature rise of any winding of the component under full load at maximum ambient temperature, when thermal stability has been achieved, added to the specified maximum ambient temperature

3.7

voltage-time product rating

voltage pulse amplitude multiplied by the time interval between the first and last instants at which the pulse amplitude equals 50 % of the peak pulse amplitude

Note 1 to entry: The start of the pulse within which the non-linearity of the magnetizing current does not exceed a specified value.

3.8

background noise

acoustic noise

noise measured at a measuring point with the component under test not electrically excited

3.9

compass safe distance

distance from the pivot of the test magnetometer of a compass to the nearest on the surface of the component under test, at which the magnetic deviation is limited to a stated value

3.10

duty ratio

ratio of pulse duration t_d to the cycle time

3.11

current transformer parameters

3.11.1

burden

property of the circuit connected to the secondary winding of a current transformer which determines the real and reactive power at the secondary terminals

Note 1 to entry: Burden 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.

3.11.2

current transformation ratio

k

ratio of the RMS value of the primary current to the RMS value of the secondary current under specified conditions

3.11.3

phase angle

angular displacement of the fundamental frequency between the vector representing the primary and secondary currents of the transformer

Note 1 to entry: The phase angle is positive when the secondary current leads the primary current.

3.11.4

ratio error

difference between the measured current transformation ratio k and its nominal value k_n , divided by the measured value k , and expressed as a percentage

$$\frac{k_n - k}{k} \cdot 100 \%$$

3.12**electrostatic screen**

conducting screen inserted between windings that, when it is connected to earth or the points where the voltage potentials are constant, considerably reduces the transference of unwanted signals from one winding to the other via inter-winding capacitance

3.13**safety screen**

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**

<single-phase windings> 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 rise positively through zero at the same instant of time

3.15**uniformly-insulated winding**

winding in which the insulation to earth is, at all points, designed to withstand an electric strength test of a value appropriate to the maximum voltage potential to be applied at the high voltage end

3.16**graded-insulated winding**

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

3.17**frequency weighting characteristic**

A

most commonly used frequency curve in the measurement of sound pressure level

4 Test procedures**4.1 Test and measurement conditions****4.1.1 General**

Unless otherwise specified, all tests shall be carried out under standard atmospheric conditions for testing as specified in IEC 60068-1. Where there is a requirement for components to attain temperature stability this shall be in accordance with IEC 60068-1:2013, 4.4.

Unless otherwise stated in the detail specification, all voltages and currents shall be sinusoidal; values shall be taken as RMS, 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 Clause 4 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.

Table 1 – Recommended tests and specifications for specific transformer and inductor groups

[illegible]

Test procedures	Filament	Isolating	Current limiting	Rectifier	Combination	Ferroresonance	Converter	Polyphase	Switch mode	Large rectifier	Voltage stepdown	Voltage stepup	Low ratio inverting	Impedance matching	DC isolating	Common-mode rejection	Potential transformers	Current transformers	Filter inductors	Charge inductors	Hybrid transformers	RF transformers	Network transformers
Transformation ratio by impedance (4.4.7.1)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Coefficient of coupling (4.4.7.2)									x		x	x		x	x								
Voltage transformation ratio (4.4.7.3)																	x						
Current transformation ratio (4.4.7.4)																		x					
Resonant frequency (4.4.8)																							
Inherent self-resonance (4.4.8.2)						x	x							x		x					x		
Resonant assemblies (4.4.8.3)					x	x	x							x		x					x		
Signal transfer characteristics (4.4.9)																							
Insertion loss (4.4.9.1)											x	x	x	x								x	x
Return loss (4.4.9.2)											x	x	x	x								x	
Cross-talk (4.4.10)																						x	
Frequency response (4.4.11)														x	x	x					x		
Pulse characteristics (4.4.12)									x		x	x	x										
Voltage-time product rating (4.4.13)											x	x	x										
Total harmonic distortion (4.4.14)														x	x	x							
Voltage regulation (4.4.15)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Temperature rise (4.4.16)																							
Method utilizing the change in DC resistance of a winding (4.4.16.1)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x			
Method using an additional series-opposing bifilar winding (4.4.16.2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x			
Surface temperature (4.4.17)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									x	x			
Polarity (4.4.18)		x		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x
Screens (4.4.19)																							
Capacitance test for screens (4.4.19.1)		x		x	x				x	x	x			x	x	x	x	x			x		
Safety screens (4.4.19.2)															x		x						
Acoustic noise (4.4.20)																							
Acoustic noise (4.4.20.1)	x	x	x	x	x	x		x	x	x					x								
Electromagnetic noise (4.4.20.2)	x	x	x	x	x	x		x	x	x				x									
Corona tests (4.4.21)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							x	x	x	x			
Magnetic fields (4.4.22)																							
Magnetic shielding (4.4.22.1)									x														
Magnetic influence (compass safe distance) (4.4.22.2)														x		x							
Magnetic radiation (4.4.22.3)		x		x	x			x	x	x			x	x	x	x	x						
Inrush current (4.4.23)			x															x					

4.1.2 Measurement uncertainty

The limits quoted in the 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 with respect to set conditions or instrument error have been specified these shall be regarded as additional minimum requirements.

4.1.3 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 authority¹ that any alternative methods which the tester uses will give results equivalent² to those obtained by standard methods. In the case of dispute, for referee and reference purposes the specified methods only shall be used.

4.2 Visual inspection

4.2.1 General

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 such as 1812/4532 or smaller), these can be specified as additional tests in the relevant detail specification.

4.2.2 Safety screen position

NOTE 1 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.

NOTE 2 Screens fitted to toroidal transformers can 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:

- a) minimum overlap;
- b) minimum creepage distance.

4.2.3 Quality of 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.

¹ For example, a National Supervising Inspectorate within the IECQ scheme or equivalent method.

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.

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) 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 3(a));
- g) not be "dry" (that is, 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 3(b));
- h) be wired at terminals in such a way as to leave no residual stress (see Figure 3(c));
- 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 3(d));
- j) not exhibit score and scratch at leading-out end before welding (see Figure 3(e));
- k) not exhibit solder cracking on the spot weld end (see Figure 3(f));
- l) not exhibit nonwetting (see Figure 3(g));
- m) not exhibit projection on the weld end (see Figure 3(h)).

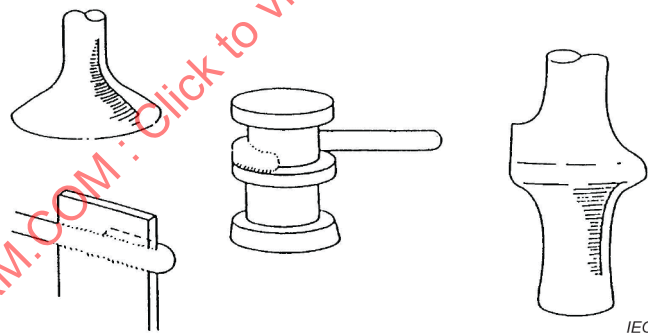
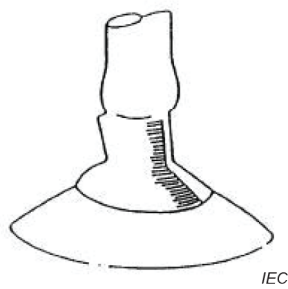
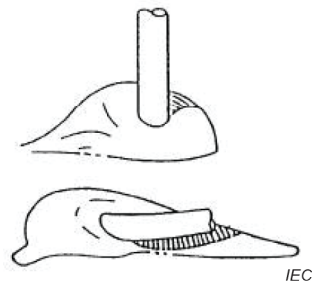


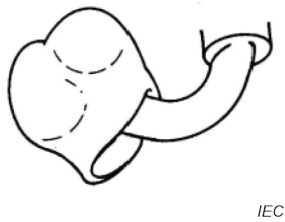
Figure 2 – Examples of good solder joints



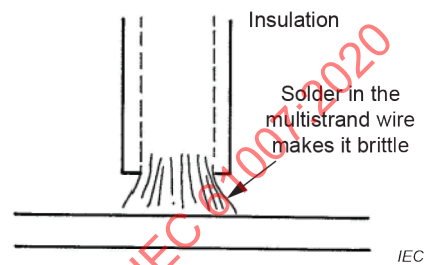
a) Moved joint



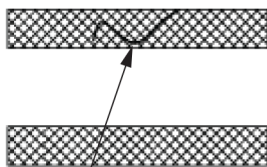
b) Dry joints



c) Mechanically stressed joint



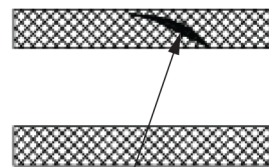
d) Wicking



Scratches

IEC

e) Scratches



Cracking

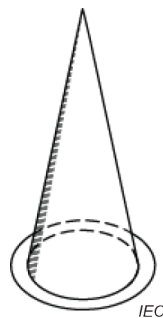
IEC

f) Cracking



IEC

g) Nonwetting



IEC

h) Tip of welding end

Figure 3 – Examples of defective joints

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 DC winding resistance

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

Procedure: The resistance shall be measured by a suitable method (refer to Annex A).

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 formulae:

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

$$k = \frac{1}{\alpha_{20}} - 20$$

where

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

α_{20} is a temperature coefficient of resistivity of the winding conductor at 20 °C.

For safety reasons, care should be taken to avoid shock due to the risk of short-circuited windings generating high voltages at the moment of current interruption.

Information to be stated:

- terminations between which the measurement is to be made;
- whether the result of measurement should be corrected to 20 °C, and if so, the value of k is corrected by the temperature coefficient of resistivity.

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.

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 AC resistance

Purpose: To determine the AC resistance under rated operating frequency.

Procedure: A suitable AC power source shall be adopted, and the test frequency and AC voltage shall be stipulated.

Information to be stated:

- winding to be tested.

Care should be taken in testing to avoid the risk of shock, especially in the case of components with high inductance, as a high voltage can be generated.

4.4.1.3 Continuity

Purpose: To verify the continuity of a specified winding.

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

Information to be stated:

- winding to be tested.

The current should not be so large as to have a significant magnetizing effect on the component.

Care should be taken in testing a winding with a high inductance value as a high voltage may be generated.

NOTE Where there are parallel paths, as with multiple windings or in polyphase components, a DC resistance check can 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 Dielectric withstand voltage test**

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

NOTE 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 of the special test conditions of 4.4.2.2 item b).

NOTE 2 In certain cases it can be appropriate to demonstrate the adequacy of the low-voltage end insulation of graded-insulated windings during the induced voltage test of the special test conditions of 4.4.2.2 item b).

Procedure: A test voltage whose value is from Table 2 unless otherwise specified. The test voltage 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 the frame, core and earth while windings and screens on the other side shall be connected together. The test instrument should have sufficient output power (refer to Annex B).

Table 2 – Voltage of dielectric withstanding voltage test

Peak working voltage V_{pk}	AC test voltage, 45 Hz to 65 Hz (RMS) V_{RMS}	DC 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 × peak working voltage	4 × peak working voltage
> 700	1,4 × peak working voltage + 1 000	2 × peak working voltage + 1 400

The test voltage shall be increased at a convenient rate not exceeding 2 kV/s, 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.

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

If environmental conditioning is required in the detail specification for this test, the component shall be held in the specified conditions for a minimum of 6 h unless otherwise specified. (See IEC 60068 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 AC test voltage (if different from the values shown in Table 2);
- d) test duration;
- e) maximum leakage current, if specified.

NOTE 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 can 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.

Electric strength test voltages can 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.

If the specified voltage above earth is alternating, it shall be of the same frequency as the induced voltage (refer to Annex C).

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 exciting 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 exciting by pulse waveforms.

Specified test voltage pulses of an 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 %³ 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 exciting 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 normally⁴ not greater than the effective shortest half-cycle period of the operative waveform for which the component is intended, for example 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 value which shall then be maintained for 60 s $\pm$ 5 s before reducing the voltage to one-third of its value and thence 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.

³ Pulse durations greater than 50 % of the rated maximum value may be specified provided that they do not cause core flux saturation or other abnormalities.

⁴ A lower test frequency may be specified provided that it does not cause core flux saturation or other abnormalities.

Information to be stated in the detail specification:

- a) the test voltage (RMS or peak as applicable);
- b) the winding(s) to be excited (see the last paragraph in 4.4.2.1);
- 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 A source of test voltage can 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 DC voltage of either:

100 V $\pm$ 10 V for windings with peak working voltage < 500 V, or
500 V $\pm$ 10 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 s $\pm$ 5 s.

If environmental conditioning is required in the detail specification for this test, the component shall be held in the specified conditions for a minimum of 6 h unless otherwise specified. (See IEC 60068 (all parts) 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 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 in open-circuit. The harmonic distortion of the applied voltage shall be less than 6 %. The input current shall be measured with a true RMS 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. The test schematic is shown in Figure 4.

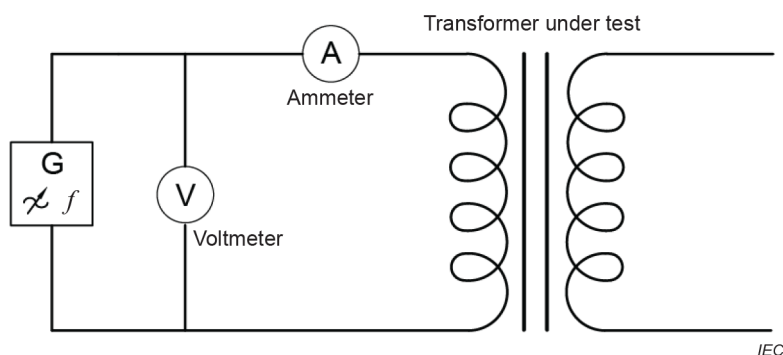


Figure 4 – No-load current test schematic

Information to be stated:

- a) AC voltage;
- b) test frequency;
- c) winding to be tested;
- d) maximum RMS 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 in open-circuit. The harmonic distortion of the voltage when applied to the winding shall be less than 6 % (refer to Annex D). The test schematic is shown in Figure 5.

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

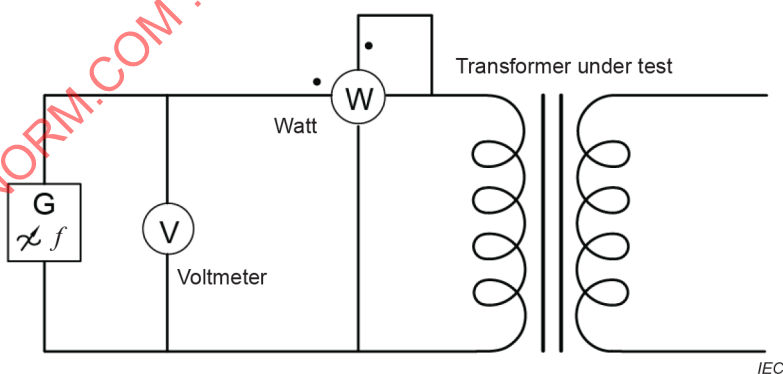


Figure 5 – No-load loss test schematic

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) circuit magnification meter (Q -meter);
- c) insertion loss measurement;
- d) damped oscillation test method (refer to Annex E).

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:

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

and

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

respectively.

Information to be stated:

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

NOTE In tests of high Q components, corrections for the dissipation factor of the capacitor and terminating impedance can be necessary.

4.4.3.4 Short-circuit power test

Purpose: The purpose of the short-circuit power test is to determine the losses due to the effective AC resistance of the transformer, excluding the losses of the core, at rated current.

Procedure: The simplified diagram is shown in Figure 6. The circuit consists of a power source of specified frequency, an ammeter to monitor the primary current of the transformer, and a wattmeter to measure the losses in the transformer's primary circuit. The secondary winding is short-circuited with the least impedance practical.

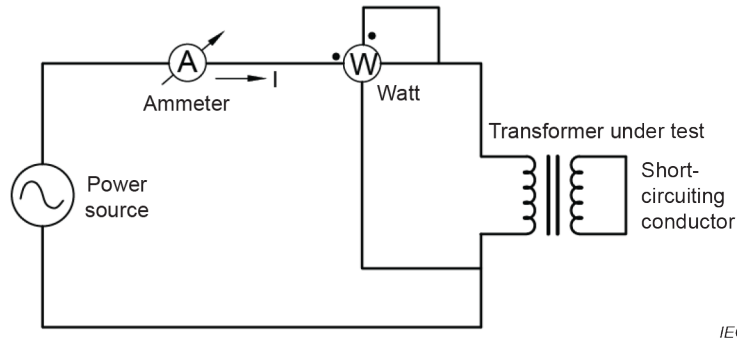


Figure 6 – Simplified diagram for short-circuit power test

Information to be stated:

- the power source shall furnish the required voltage and current with a specified limit on harmonic distortion;
- the wattmeter shall indicate the real power lost in the transformer under test with the specified accuracy;
- the ammeter shall indicate the RMS current in the primary winding with a specified accuracy;
- the short-circuiting conductor and its connections to the terminals of the secondary winding shall have negligible impedances with respect to the secondary winding.

The transformer is connected in the test circuit. The input voltage should be raised from 0 V until the rated current is achieved, as read on the ammeter. The power P indicated by the wattmeter is the short-circuit power, which is the sum of the losses in the test winding and all short-circuiting windings, as well as the power loss of the wattmeter.

NOTE The measurement is made as quickly as possible after excitation is applied to minimize the effects of self heating.

4.4.3.5 Efficiency

The efficiency of the transformer is the ratio of its total power output to the power input to the device, expressed in percent.

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100$$

where

P_{out} is the total power output;

P_{in} is the power input.

The efficiency of transformers can be more accurately calculated when P_{loss} , including the core and copper losses, is known from independent measurements or estimates:

$$\eta = \frac{P_{\text{in}} - P_{\text{loss}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100 = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + P_{\text{loss}}} \cdot 100$$

where

P_{out} is the total power output;

P_{in} is the power input;

P_{loss} is the loss.

4.4.4 Inductance

4.4.4.1 Effective inductance

Purpose: To measure the effective inductance of a winding.

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

Information to be stated:

- a) winding to be measured;
- b) form of measurement;

NOTE 1 In the case of low Q components, typically 10 or less, the series or parallel mode of measurement is specified.

NOTE 2 There is a difference between the true inductance L_0 measured at low frequencies and the effective inductance L_e measured at frequencies close enough to self-resonance that self-resonance affects the measured inductance.

- c) AC voltage on the measured winding;
- d) measuring frequency;
- e) polarizing DC.

4.4.4.2 Leakage inductance, L_1

Purpose: To determine the leakage inductance between the 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) test winding and other windings connections;
- b) AC voltage;
- c) measuring frequency.

4.4.5 Unbalance

4.4.5.1 Capacitance unbalance

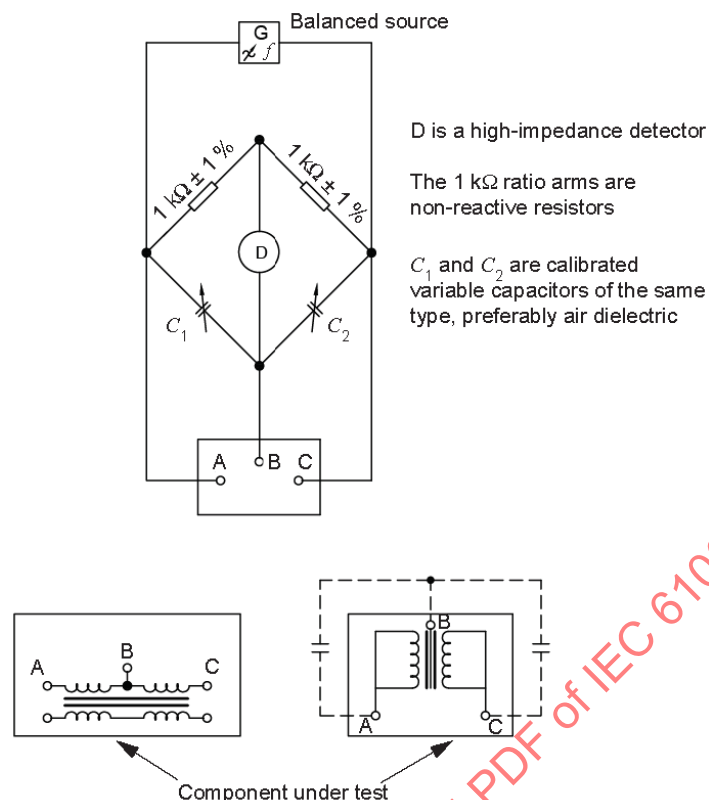
Purpose: To determine the capacitance unbalance between the specified terminations of a transformer.

Procedure: A suitable circuit for the measurement of this parameter is shown in Figure 7. 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 in Figure 7 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.



NOTE Terminal letters are for reference only.

Figure 7 – Circuit for measuring capacitance unbalance

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 8.

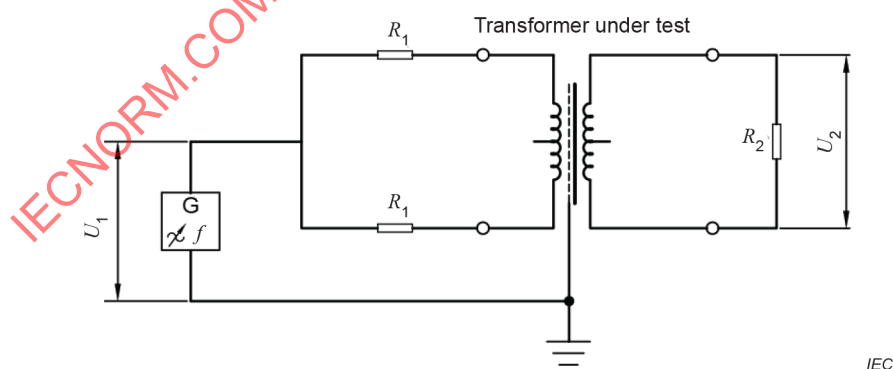


Figure 8 – Circuit for determining common mode rejection ratio

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:

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

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:

- a) transformer connections, including earth connections;
- b) test frequency;
- c) input impedance, $2R_1$;
- d) 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 9.

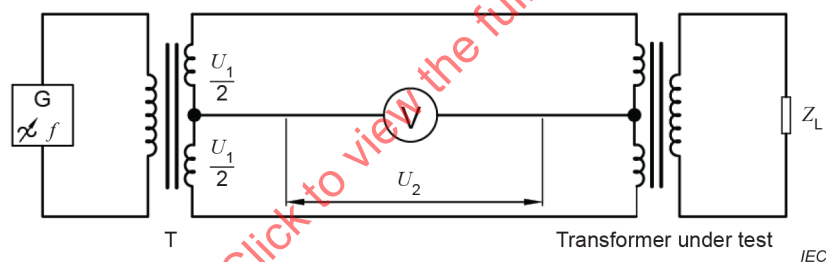


Figure 9 – Circuit for measuring impedance unbalance

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:

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

Information to be stated:

- a) component connections;
- b) input voltage U_1 ;
- c) load impedance Z_L ;
- d) test frequency.

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

4.4.5.4 Cross-talk attenuation

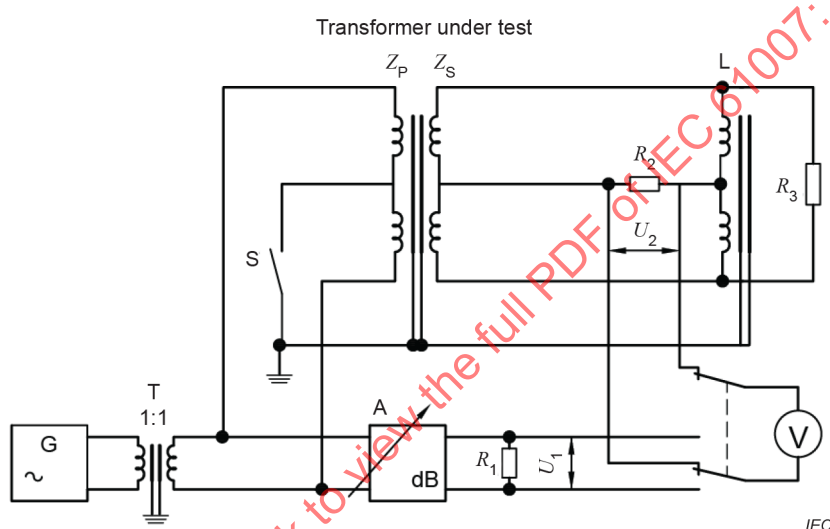
Purpose: To determine the cross-talk attenuation of a telecommunication line transformer used in a phantom circuit.

Procedure: A suitable test circuit is shown in Figure 10.

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

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

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



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 kΩ.

S is a switch enabling the transformer's 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 10 – Circuit for determining cross-talk attenuation

Information to be stated:

- transformer primary and secondary impedances;
- phantom circuit impedance;
- test frequency if other than 800 Hz;
- transformer's 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 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:

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

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

$$a_{uv} = 20 \lg [U_1 / (U_1 - U_2)]$$

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 DC resistance unbalance between two windings intended to be equal.

Procedure: The DC resistance of each specified winding shall be measured using an instrument having a resolution of 0,1 times the ohmic value of the specified DC 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 using the formula:

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

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

$$a_{ur} = 20 \lg [R_1 / (R_1 - R_2)]$$

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

Information to be stated:

- winding connections.

4.4.5.7 Phase unbalance

Purpose: To determine the phase balancing between two windings intended to have equal phases.

Procedure: A pertinent test circuit is shown in Figure 11.

Phase unbalance shall be measured between two output ports. While measuring, the other outputs shall be connected by matched loads which meet the test requirements. Repeat the measurement at the other outputs in the same fashion.

Information to be stated:

- a) test instrument: four-channel vector network analyzer or equivalent;
- b) test channel;
- c) determine by sweep the frequency range required.

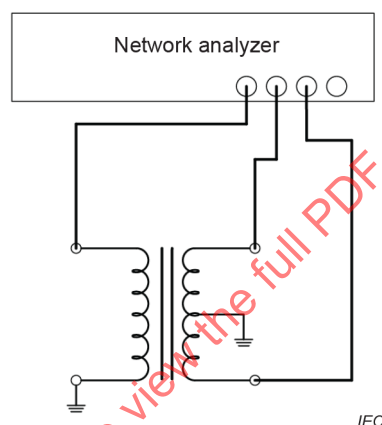


Figure 11 – Schematic diagram of phase unbalance and amplitude unbalance

4.4.5.8 Amplitude unbalance (radio frequency)

Purpose: To determine the amplitude balancing between two windings intended to have equal output levels.

Procedure: A pertinent test circuit is shown in Figure 11.

Amplitude unbalance shall be measured between two output ports. While measuring, the other outputs shall be connected to matched loads which meet the test requirements. Repeat the measurement at the other outputs in the same fashion.

Information to be stated:

- a) test instrument: four-channel vector network analyzer or equivalent;
- b) test channel;
- c) determine by sweep the frequency range required.

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. Then 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 12.

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

$$\frac{1}{f^2(L_1/L)}$$

where

L is the inductance of the winding at low frequency;

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

f is the measuring frequencies.

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 frequencies;
- d) for Procedure 1 only, a description of the specified inductor;
- e) earthing conditions.

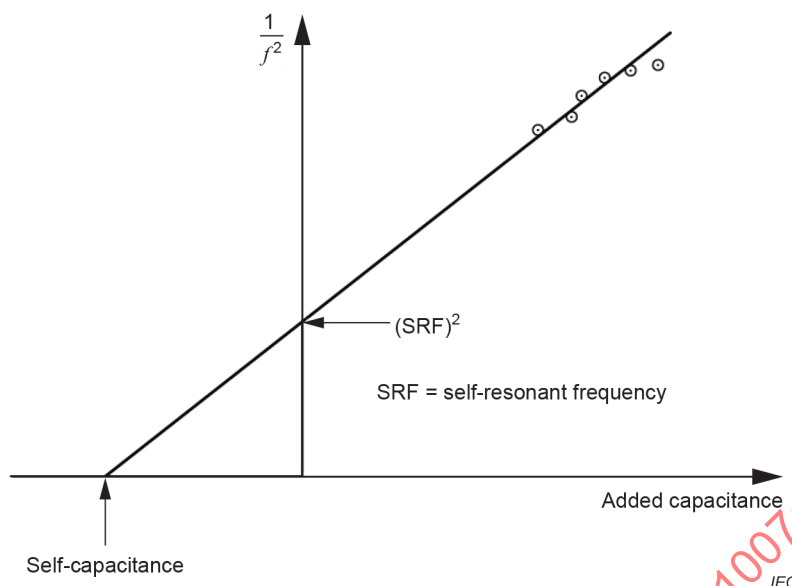


Figure 12 – Typical graph for determining self-capacitance

Procedure 3: The self-capacitance (distributed capacitance) of the winding is calculated according to the resonant frequency and the effective inductance (the inductance value of the linear segment in the range of test frequency).

The winding's own capacitance (distributed capacitance) should be calculated as follows:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

where

L is the inductance of the winding at low frequency;

f is the L - C parallel resonant frequency.

Information to be stated:

- a) winding connections;
- b) AC voltage;
- c) test frequency range.

For all three Procedures 1, 2 and 3 the earthing conditions shall be as specified.

4.4.6.2 Inter-winding capacitance

Purpose: To determine the static or structural 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 1 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 13, where X_c represents the reactance of the capacitance to be measured.

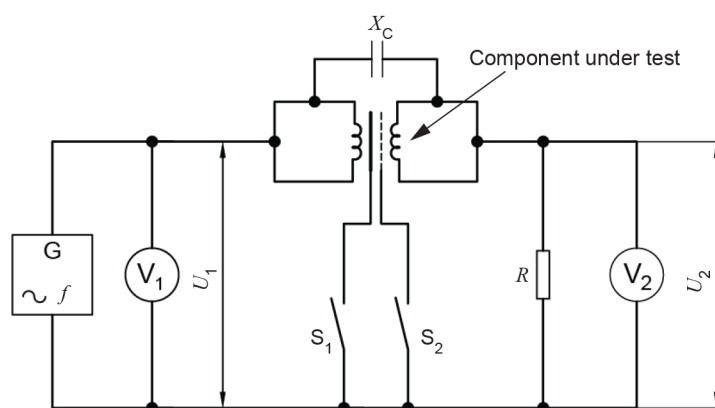


Figure 13 – Circuit for determining inter-winding capacitance

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 inter-winding capacitance is calculated from the formula:

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

where

f is the frequency of the generator G .

NOTE 2 Where many components are measured, it can 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:

- a) winding connections;
- b) for Procedure 1, test frequency.

4.4.6.3 Inter-element capacitance

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

Procedure: As in 4.4.6.2.

Information to be stated: As in 4.4.6.2.

4.4.7 Transformation ratios

4.4.7.1 Transformation ratio by impedance

The transformation ratio of a practical transformer with a first winding having N_1 turns to a second winding magnetically coupled to it and having N_2 turns, can be determined as the ratio of the impedances of the two windings, including the mutual impedances:

$$a_{12} = \frac{Z_{10} + K\sqrt{Z_{10} \cdot Z_{20}}}{Z_{20} + K\sqrt{Z_{10} \cdot Z_{20}}}$$

where

a_{12} is the transformation ratio;

Z_{10} is the open-circuit impedance of the primary winding, $= R_{10} + j\omega L_{10}$;

Z_{20} is the open-circuit impedance of the secondary winding, $= R_{20} + j\omega L_{20}$;

K is the coefficient of the coupling, with the term $K\sqrt{Z_{10} \cdot Z_{20}}$ representing the mutual impedance between the two windings.

In the special case when the phase angles of Z_{10} and Z_{20} are equal, the transformation ratio is equal to the ratio of the mutual inductances of the two windings, including the inductances:

$$a_{12} = \frac{L_{10} + K\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}}{L_{20} + K\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}}$$

where

a_{12} is the ratio of the transformation;

L_{10} is the inductance of the primary winding with the secondary in open-circuit;

L_{20} is the inductance of the secondary winding with the primary open-circuit;

K is the coefficient of the coupling, with the term $K\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}$ representing the mutual inductance between the two windings.

This condition is established in the most conventional ratio-of-transformation bridges.

4.4.7.2 Coefficient of coupling

The coupling coefficient is the tightness of the coupling between the windings:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}}$$

where

M is the mutual inductance.

In coupling inductors, the coupling coefficient expression is:

$$K = \frac{L_{sa} - L_{so}}{4\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}}$$

where

L_{sa} is the inductance of the two windings connected in aiding series;

L_{so} is the inductance of the two windings connected in opposing series;

L_{10} is the inductance of the primary winding with the secondary open-circuit;

L_{20} is the inductance of the secondary winding with the primary open-circuit.

In a transformer, the coupling coefficient expression is:

$$K = \sqrt{1 - \frac{L_s}{L_{10}}}$$

L_{10} is the inductance of the primary winding with the secondary open-circuit;

L_s is the inductance of the primary winding with the secondary short-circuit.

4.4.7.3 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 in open-circuit. The output voltage of the appropriate winding shall be measured and the required ratio determined.

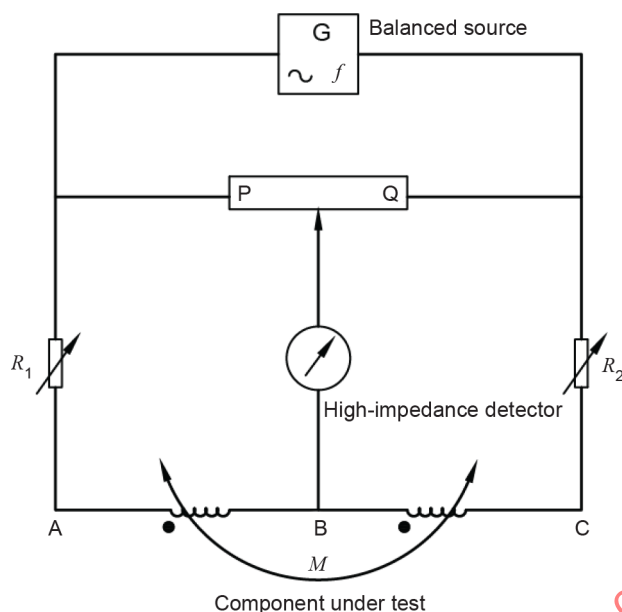
The measuring instrument should be of sufficiently high impedance for the effect on the measured voltage to be negligible.

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) AC 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 14. 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 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 14 – Circuit for measurement of voltage transformation ratio

Information to be stated in the detail specification:

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

Procedure 3 (applies to secondary windings and multiple windings): Input the specified frequency and voltage on the turn ratio meter, and set the number of turns for windings connected to the instrument at the output. Connect the output terminal of the instrument to the specified winding, and the input terminal to the other winding to measure the output value of the corresponding winding and to determine the required voltage transformation ratio from the fact that the number of turns equals the voltage ratio ($N_1 / N_2 = U_1 / U_2$).

Information to be stated:

- measuring voltage;
- measuring frequency;
- the number of turns for windings connected to the instrument at the output terminal;
- windings to be connected and measured;
- allowable deviation of the voltage transformation ratio.

4.4.7.4 Current transformation ratio

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

Procedure 1: Connect the current transformer CT to the measuring circuit in Figure 15, adjust the tapped point on R_2 and M , and set the indicator to zero to let the following formula hold:

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

$$\beta = \arctan \frac{\omega \cdot M}{R_2''}$$

where

k is the current transformation ratio;

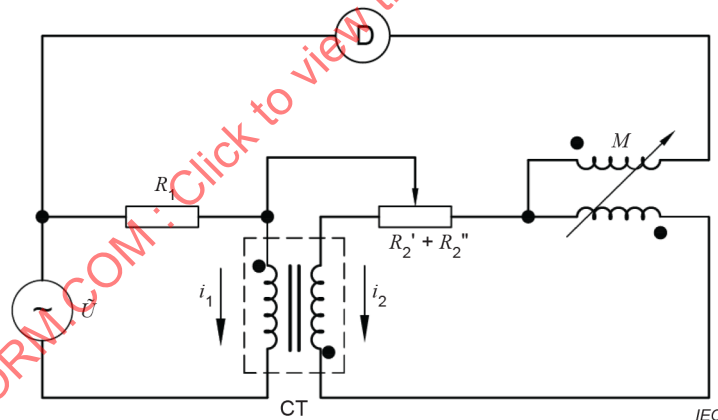
β is the phase displacement of current between two windings ;

R_2'' is one part of R_2 in the indicator loop ($R_2' + R_2''$);

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

The polarity of the current transformer winding shall indicate that the voltage phase between terminals R_1 and R_2 is series-opposing with respect to the indicator. The polarity of winding M shall achieve a balance.

NOTE A value for R_2 is chosen to load the secondary winding of the CT under its rated load. For the first approximate loading, the value of R_1 is brought out by that chosen for R_2 , which, combined with the rated load, determines the approximate value of i_2 . Assuming that the specified value of K is correct, the value of i_1 can be calculated. The voltage of the test signal generator is known, and the value of R_1 can be given.



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 15 – Circuit for measuring current transformation ratio and phase displacement

Information to be stated:

- rated primary current;
- rated load;
- measuring frequency;
- current transformation ratio and allowable deviation;
- current phase displacement and allowable deviation.

Procedure 2: Measure the current transformation ratio and current phase displacement digitally.

Connect the current transformer CT to the measuring circuit in Figure 16, adjust the output current of the broadband constant-current source i_1 , and let the following formula hold:

$$K = \frac{|\dot{I}_1|}{|\dot{I}_2|} = \frac{|U_1 \cdot R_2|}{|U_2 \cdot R_1|}$$

$$\beta = \angle(\dot{U}_1 - \dot{U}_2)$$

where

K is the current transformation ratio;

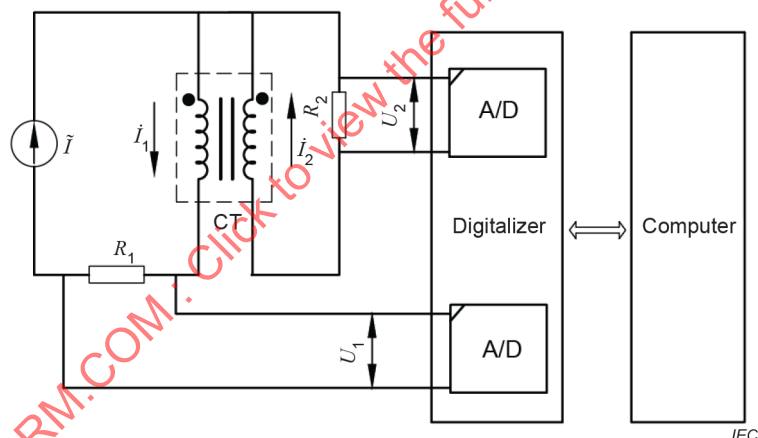
β is the current phase displacement between two windings;

$\dot{I}_1$ is the current in primary circuit;

$\dot{I}_2$ is the current in secondary circuit;

R_1 is the sampling resistor in primary circuit;

R_2 is the sampling resistor in secondary circuit.



CT is the current transformer under test

NOTE R_1 and R_2 are non-inductive resistors

Figure 16 – Measuring circuit of current transformation ratio and phase displacement

Information to be stated:

- rated primary current;
- rated load;
- measuring frequency;
- current transformation ratio and allowable deviation;
- current phase displacement and allowable deviation.

4.4.8 Resonant frequency

4.4.8.1 General

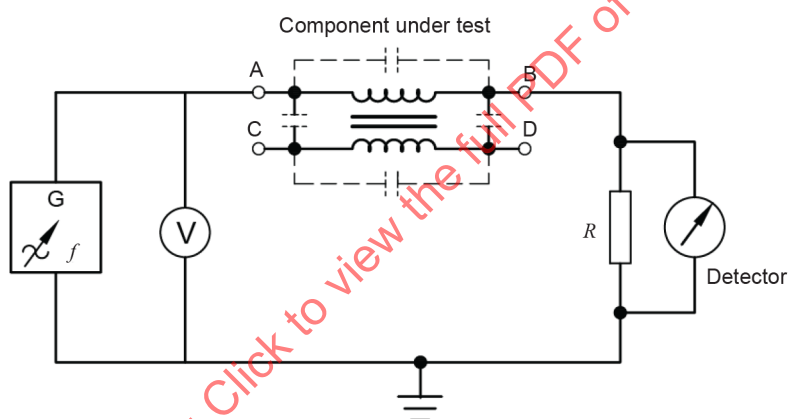
In the following two tests, care should be taken to avoid inaccuracies caused by the capacitance between test terminals or between the components and earth, especially if it is necessary to perform the test with the core connected to one of the test terminals.

4.4.8.2 Inherent self-resonance

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

Procedure 1: The component under test is connected into the test circuit of Figure 17, 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.



IEC

NOTE Terminal letters are for reference only.

Figure 17 – 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:

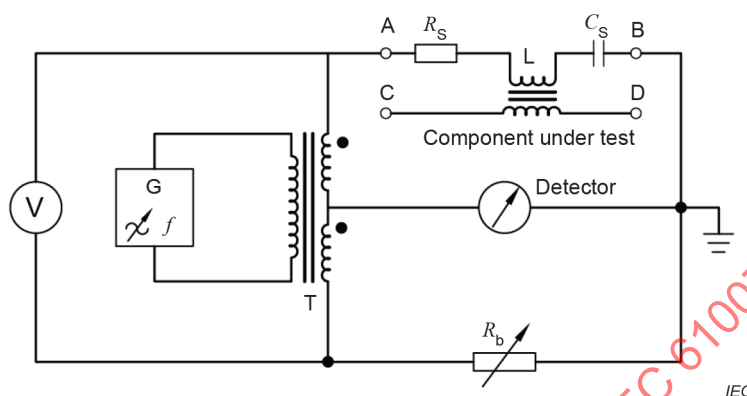
- AC voltage;
- value of resistor R ;
- connections, including earthing of parts of the component and test circuit;
- frequency range to be examined.

NOTE Procedures 2 and 3 found in 4.4.6.1 can be used as alternate procedures in 4.4.8.2.

4.4.8.3 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, for example a resonating capacitor.

Procedure: With the component under test connected as shown in the basic circuit diagram given in Figure 18, 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 correspond to the required resonant frequency and the effective series resistance of the component under test.



Key

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.

NOTE 1 The detector is a high-impedance meter of suitable sensitivity, suitable for the specified frequency range. This circuit element can incorporate a screened transformer.

NOTE 2 Terminal letters are for reference only.

NOTE 3 This circuit is also suitable for parallel combinations of L and C.

Figure 18 – Circuit for determining resonant frequency of resonant assemblies

Information to be stated in the detail specification:

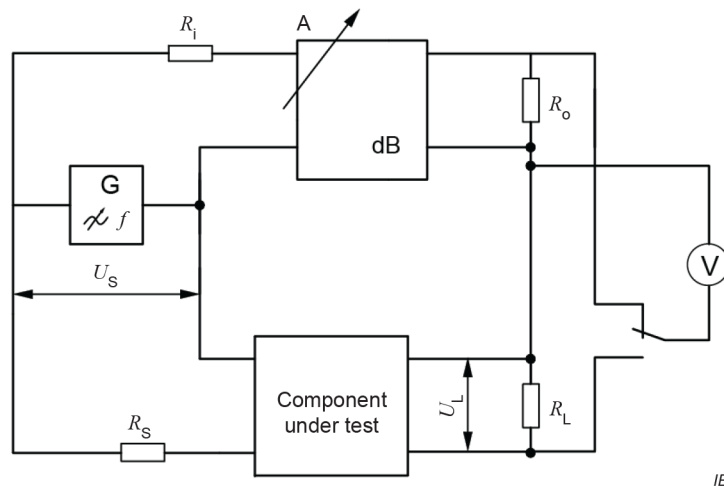
- the AC voltage level;
- the required resonant frequency limits (minimum and maximum);
- the value of effective series resistance (maximum and/or minimum) if required;
- the loading details and connections with particular reference to the earthing of parts of the component(s).

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 19.



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 a value equal to the input impedance of the attenuator;

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

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

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

U_L is the voltage across the load;

U_s is the voltage across the 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 19 – 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.

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:

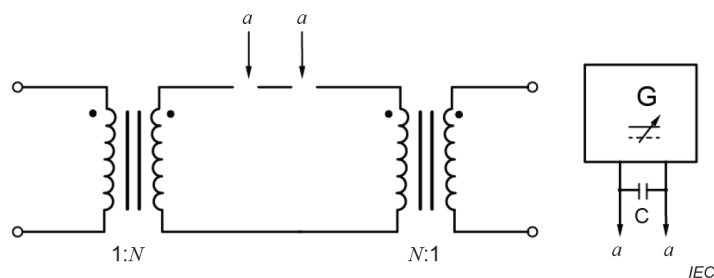
$$a_i = a_r - 10 \lg(R_s/R_L)$$

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:

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

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 20 to form the "component under test" of Figure 19. This arrangement also facilitates making measurements when polarizing currents are required.



C shall be a negligible reactance at the test frequency

Figure 20 – Use of two identical transformers when the transformation ratio is not unity and/or a DC 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:

- a) winding connections;
- b) source impedance;
- c) load impedance;
- d) source voltage;
- e) measuring frequency range;
- f) polarizing current (if any).

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

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:

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

where

W_a is the maximum available power in the load;

W_r is the reflected power.

Thus, as illustrated in Figure 21, 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

$$W_a = \frac{U_o^2}{4R_G}$$

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:

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

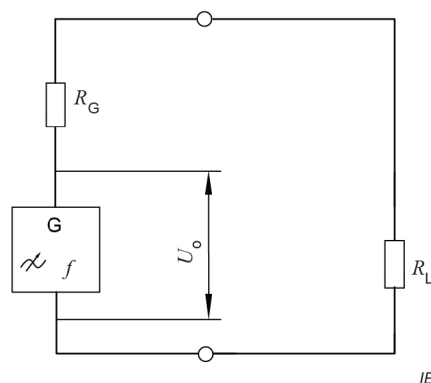


Figure 21 – Illustration of return loss

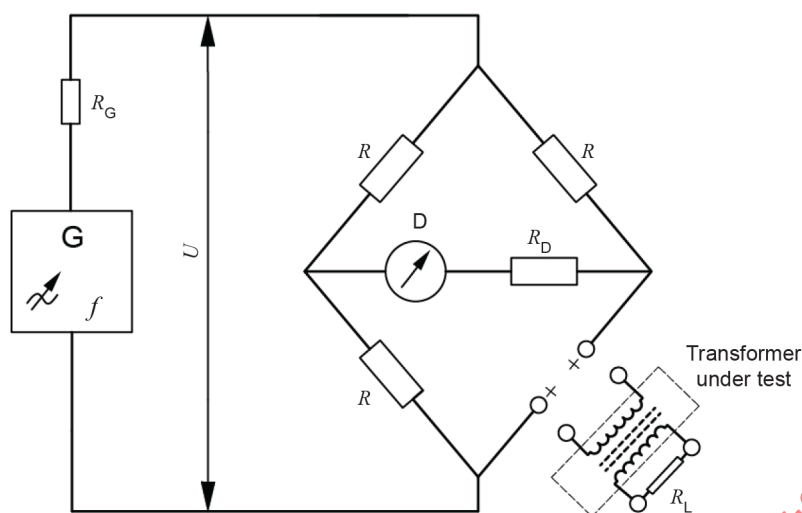
Hence the value of the return loss a_{rl} in decibels is given by:

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

Procedure: The basic bridge measurement circuit shown in Figure 22 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 decibel-meter 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 $600\ \Omega$)

D is a decibel-meter, readily available for standard reference impedances such as $600\ \Omega$.

Figure 22 – Basic return loss test circuit

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.

NOTE Suitable commonly available commercial measuring instruments incorporating the necessary network to provide a direct measurement of return loss can be used.

Information to be stated:

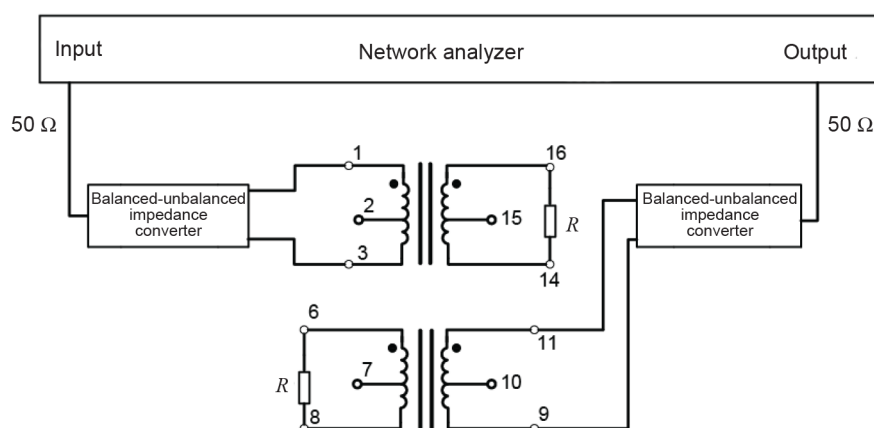
- impedance against which the return loss is to be measured, R ;
- winding connections;
- load resistance R_L or impedance Z_L ;
- source voltage(s);
- measurement frequencies;
- DC current in output winding, if required.

4.4.10 Cross-talk

Purpose: To determine the coupling of corresponding spatial induction or parasitic parameters of a specific transformer winding on all other windings. The coupling is expressed by the crossover loss.

Procedure: The basic measuring circuit as shown in Figure 23 consists of a network analyzer and a balanced-unbalanced impedance converter. The network analyzer test program is called out and the frequency adjusted to a specified value. When the start of a set of windings is connected to the output terminal of the network analyzer, the finish end is connected to the load (according to the detail specification); the start of the other set of windings is connected to the load (according to the detail specification), and the finish end is connected to the input terminal of the network analyzer. The decibels at each frequency point in the network analyzer correspond to the crossover interference.

The measuring circuit diagram of crossover interference for transformers (dB) is as shown in Figure 23:



The load resistor R is a typical value, such as 50 Ω and 100 Ω .

Figure 23 – Circuit diagram for measuring the crossover interference between two transformer coils

Information to be stated:

- a) winding connections;
- b) source impedance and load impedance;
- c) test frequency range.

4.4.11 Frequency response

Purpose: To determine the frequency response of the voltage output of a component when it is connected between the 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 19). If specified, other windings shall be loaded and the polarizing direct current applied. At the specified reference frequency, f_0 , 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 the frequency constitutes a frequency response curve.

NOTE Precautions such as screening, earthing and suppression of feedback by the use of co-axial chokes can be required, and corrections can 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:

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

where

U_f is the output voltage at frequency f ;

U_{f_0} is the output voltage at the reference frequency f_0 .

Information to be stated:

- a) component connections;
- b) source impedance(s);
- c) load impedance(s);
- d) source voltage;

- e) reference frequency f_0 ;
- f) frequency band or test frequencies;
- g) polarizing current, if any.

4.4.12 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.

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 problems such as excessive capacitance, insufficient bandwidth or excessive load inductance.

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

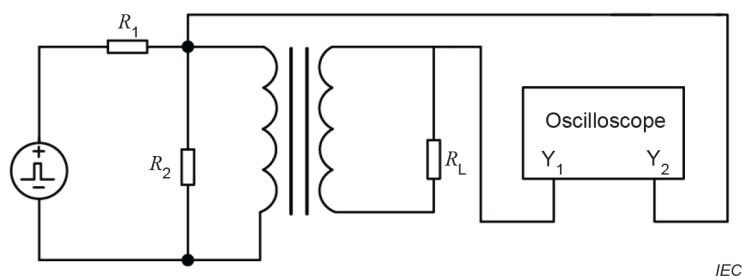
- a) peak pulse amplitude, U_m ;
- b) pulse duration, t_d ;
- c) pulse rise time, t_r ;
- d) pulse fall time, t_f ;
- e) pulse droop;
- f) overshoot;
- g) backswing;
- h) return backswing;
- i) recovery time.

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.

Test specifications:

- a) the test instruments are pulse signal generator and digital oscilloscope;
- b) measure the specified windings and open all other windings;
- c) the voltage impulse applied shall drop less than 2 %;
- d) the amplitude of the applied impulse voltage shall not exceed the value of the dielectric withstanding voltage test;
- e) connect according to Figure 24, adjust the pulse signal and observe the oscilloscope.



R_1 is the current-limiting resistor,

R_2 is the shunt resistor, and

R_L is the load.

R_1 , R_2 and R_L are non-inductive resistors.

Figure 24 – Impulse waveform measuring circuit

4.4.13 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 the 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 DC 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 24. (See also IEC 60367-1:1982, Appendix M.)

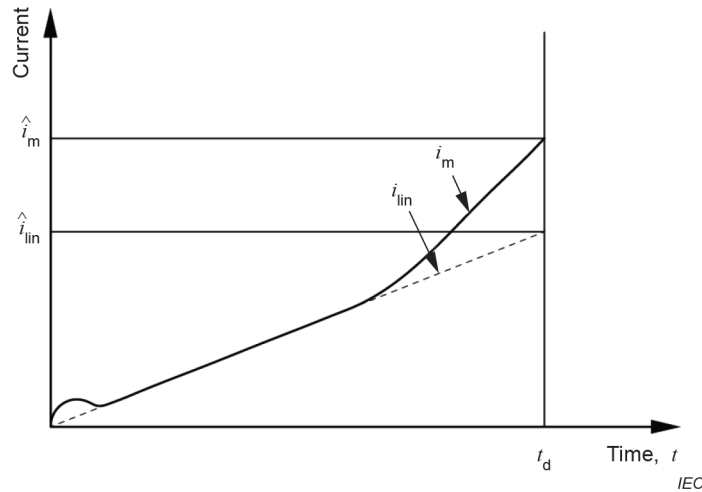
Requirement: The magnetizing current shall not exceed a specified percentage of the extrapolated linear portion of the current waveform at time t_d . That is, the non-linearity of the magnetizing current shall not exceed a specified value (see Figure 25).

Information to be stated:

- test temperature;
- pulse amplitude, U_m (volts) ⁵;
- pulse duration, t_d (s) ⁶;
- the value of i_{dc} required, the value of the superimposed direct current, its polarity and the terminations between which the direct current is to flow;
- maximum permissible non-linearity of the magnetizing current.

⁵ According to the stated voltage–time product rating for the component.

⁶ According to the stated voltage–time product rating for the component.



$$\xi_L = \frac{i_m}{i_{lin}} \cdot 100; \quad \xi_{Lmax} = \frac{i_m}{i_{lin}} \cdot 100$$

Figure 25 – Non-linearity of magnetizing current

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

4.4.14 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:

$$\left(\sum_2^7 U_{fn}^2 \right)^{1/2} \times \frac{100}{U_{f1}} \%$$

where

- f_1 is the fundamental frequency of the supply;
- f_n is the n^{th} harmonic frequency of the supply;
- U_{fn} is the voltage at any particular harmonic frequency;
- U_{f1} is the voltage at the fundamental frequency.

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

Information to be stated:

- source impedance;

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

4.4.15 Voltage regulation

Purpose: To establish the extent of voltage variation on the specified winding(s) from the no-load condition to that at which the output windings 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 the load connected.

The voltage regulation shall be within the specified limits during and at the end of the test. The schematic diagram is shown in Figure 26.

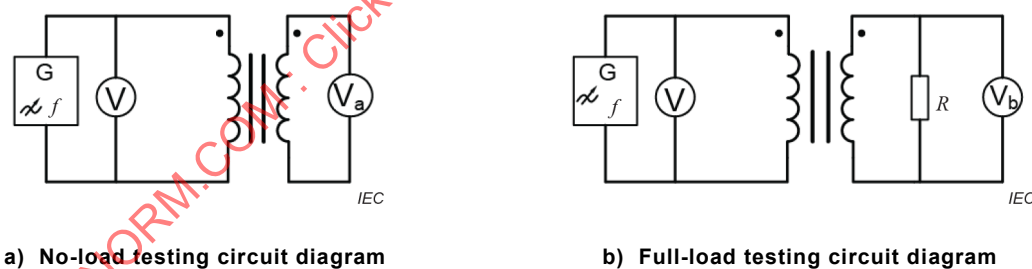


Figure 26 – Voltage regulation test schematic

Information to be stated:

- a) input supply condition (voltage and frequency);
- b) output winding(s) load conditions;
- 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.

4.4.16 Temperature rise

NOTE The following tests are intended for proving the performance of series production components. A thermocouple (see 4.4.17) can be used, if required, as an alternative method for development items.

4.4.16.1 Method utilizing the change in the DC 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 DC 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 DC resistance re-measured 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 the test (in °C);

θ_f is the ambient temperature at end of the 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 of the winding conductor. For the purposes of this document, the value for copper shall be taken as 234,5 and for aluminium as 228,1. The value of k is given in 4.4.1.1.

Information to be stated:

- a) information required by a) and b) of 4.4.1.1;
- 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 can necessitate more detailed information, such as circuit diagrams and associated component values.

4.4.16.2 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 DC resistance of this winding shall be measured as in 4.4.1.1 and the temperature rise determined as in 4.4.16.1.

NOTE 1 This method can be used when there is an accessible free core or winding surface on which a suitable bifilar winding can be placed.

NOTE 2 The application of thermal insulation to the bifilar winding can enable an estimate of internal component temperatures to be obtained.

NOTE 3 This method can be adapted to the evaluation of prototypes by installing the bifilar winding between the functional windings of the component.

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 4.4.16.1.

4.4.17 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 4.4.16.1 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.

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

The surface temperature shall be recorded.

NOTE 1 The maximum surface temperature can be determined by scanning the component surface.

NOTE 2 Measured values can be affected by:

- a) the thermal resistance between the probe and component surface;
- b) electromagnetic fields, to which some probes are sensitive.

WARNING – Electrical shock hazard. Precautions shall be taken physically and electrically to isolate the operator of the thermocouple 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 4.4.16.1;
- b) maximum surface temperature;
- c) specific locations of measurement.

4.4.18 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 27, the following relationship is true:

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_1 + \dot{U}_2$$

For windings with opposite polarity:

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_1 - \dot{U}_2$$

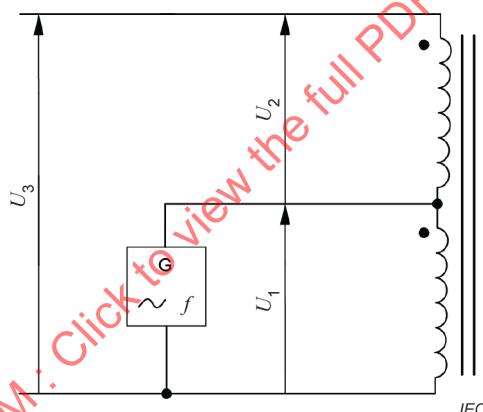


Figure 27 – Phase (polarity) test using voltage measurement

Information to be stated:

- terminations to be connected together;
- terminations between which the phase is to be determined.

Procedure 2: Using the bridge circuit and associated procedures given in Procedure 2 of 4.4.7.3, verify the relative phase of the windings to be tested.

NOTE 1 Incorrect polarity of AB relative to BC will result either in a balance at a value of P:Q different from that specified or failure to achieve a balance (see Figure 14).

NOTE 2 This procedure may not be feasible with some polyphase components.

Information to be stated:

- winding connections giving the correct polarity of winding AB relative to winding BC;
- the voltage transformation ratio limits;
- test frequency and voltage;
- if required, the approximate values of R_1 and R_2 .

Procedure 3: The windings whose relative phases are to be examined are connected in series, as specified, and the inductance of the assembly is measured on a suitable bridge (see 4.4.4.1).

The result of this measurement is compared with the value calculated from the inductances of the individual windings as determined on the same bridge.

Thus, the simplest case is two windings having inductance L_1 and L_2 .

For windings with a forward connection, as shown in Figure 28(a):

$$L_1 + L_2 + 2 k \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

For windings with a reverse connection, as shown in Figure 28 (b):

$$L_1 + L_2 - 2 k \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

where k is the coefficient of coupling, and the positive sign is associated with the series aiding connection of the windings.

Reversal of the connection to one winding will thus produce a variation of $4k\sqrt{L_1 \cdot L_2}$.

NOTE 3 This method will not be suitable if the individual winding inductances are widely different, or if the coefficient of coupling between the test windings is small.

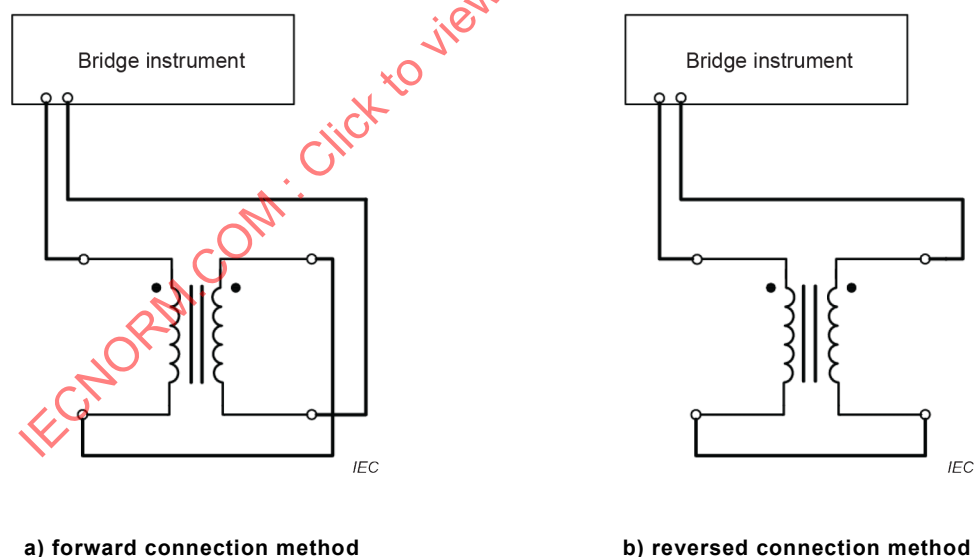


Figure 28 – Series connection method

Information to be stated:

- a) terminations to be connected together;
- b) terminations between which the phase is to be determined;
- c) test frequency and voltage.

Procedure 4: One end of each winding shall be connected to the common terminal of a two-channel oscilloscope. A supply of suitable voltage and frequency shall be connected to the Y_1

input of the oscilloscope and to the free end of one winding. Each other free end or tap shall be connected in turn to the Y_2 input terminal and the waveforms examined to establish their phase relationships.

Information to be stated:

- a) terminations to be connected together;
- b) terminations between which the phase is to be determined.

4.4.19 Screens

NOTE Sometimes the word "shield" is used as an alternative.

4.4.19.1 Capacitance test for screens

Purpose: To verify the electrostatic (shielding) effectiveness of each screen.

Procedure: On each side of the screen the windings shall be short-circuited and connected together. If the screen is isolated it shall be connected to the core (or case, if the core is not accessible) for the test unless otherwise specified (refer to Annex F).

Measurement of the direct capacitance from the windings on one side of the screen to those on the other shall be made by Procedure 2 of 4.4.6.2. Care shall be taken to avoid the effect of extraneous parasitic capacitance. The results shall be compared with those obtained with the screen disconnected.

Information to be stated:

- a) winding connections;
- b) screen connection if other than to the core or case;
- c) ratio of the capacitances: screen connected, to screen disconnected.

4.4.19.2 Safety screens

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

Purpose: To verify the existence and construction of any safety screens.

Procedure: The component shall be visually inspected by disassembly to verify the existence of any safety screens and the quality of their construction, taking into account the material and thickness of the screen, its width in relation to the width of the winding and its relative positioning, the cross-sectional area of the wire joining the screen to the external terminal and the quality of its joint to the screen.

If required, this destructive test shall be substituted by visual inspection during the manufacturing stage, when screen and joints are visible.

A final check on the completed components shall be made by means of capacitance and dielectric insulation tests (see 4.4.19.1 and 4.4.2).

Information to be stated:

- a) whether the test is to be carried out during manufacture or as a destructive test on a completed component;
- b) screen material and thickness;
- c) screen width;
- d) cross-sectional area and material of the wire connecting the screen to its connecting terminal and method of connection;

e) terminal size and material.

4.4.20 Noise

4.4.20.1 Acoustic noise

Purpose: To determine the level of audible noise radiated to the environment by the component under specified conditions.

Procedure: Whenever possible the component to be tested shall be fastened (bolted, soldered, etc.) to the chassis or other mechanical structure on which it is to be permanently mounted during its operation. The component shall then be placed in a chamber free from any noise-reflecting surface except that of the chassis or mechanical structure that contains the mounted component. The level of the background noise (see 3.8) in the chamber shall be at least 4 dB(A) and preferably 9 dB(A) lower than the combined sound level of the component and the chamber background noise.

The background noise level shall be taken to be the average of the measurements taken immediately before and immediately after the component is tested at each of the locations specified.

If the background level is such that the difference in dB(A) between the mean combined sound level of the component plus the background and the mean background level is less than 10 dB(A), but not less than 4 dB(A), the corrections shown in Table 3 shall be applied. If this difference is less than 4 dB(A) the test shall not be accepted and efforts shall be made to lower the background noise level.

Table 3 – Sound-level corrections for audible noise tests

Difference in dB(A) between the mean combined sound level of the component plus the background and the mean background alone	Corrections in dB(A) to be subtracted from the mean combined sound level of the component plus the background to obtain sound level of the component
4	2,2
5	1,7
6	1,3
7	1,0
8	0,8
9	0,6
10	0,4
Over 10	0,0

The component shall not be loaded and shall be excited at rated frequency and rated voltage from a source of specified waveform connected to the specified terminations.

Sound levels shall be measured with an instrument that is in accordance with IEC 61672-1, of type 1 F.L (F is for fast response indication; L is for laboratory use) and having a minimum reading not less than 40 dB(A). The Letter A in dB(A) means that the frequency weighting characteristic A of the instrument shall be used.

Measurements shall be taken with the probe of the sound-level meter located at the specified distance which shall be not greater than 0,3 m from the surface of which the acoustic radiation is to be measured. The readings shall be taken at the centre of each of the four vertical plane surfaces and at the centre of the top horizontal surface bordering the component. The surfaces are assumed to be those from which sound is radiated and are

determined by faces of the hexahedron describing the component contour, excluding bushings, turrets, lugs, etc.

The average sound level of the component plus background or background alone is calculated from the mean of sound levels measured as above. The average sound level of the component is calculated taking the corrected sound-level values for each measuring position.

Information to be stated:

- a) mounting details;
- b) distance of the sound-level meter from the test surfaces;
- c) winding connections;
- d) voltage and frequency of component energization.

NOTE 1 The average sound level of the sound levels would be a normalized sound pressure level of a measured value to a reference value on a logarithmic scale.

NOTE 2 In the cases of components that are constructed with auxiliary elements such as forced-air or oil coolers for example, for components of large dimensions and/or possessing distinctly directional acoustic radiation, the acoustic noise measurement is performed according to IEC 60076-10 and IEC 60076-10-1.

4.4.20.2 Electromagnetic noise

Electromagnetic noise concerns the emission or the reception of unwanted signals having associated electric and magnetic fields throughout the frequency spectrum used for power transmission and communications. Since electromagnetic noise concerns complete equipment rather than individual components, no test methods are included in this document.

Specifications for the limits of emitted noise and for immunity of equipment in the presence of noise are dealt with under the general heading of electromagnetic compatibility (EMC)⁷.

4.4.21 Corona tests

The corona test shall be made in accordance with IEC 60270 (refer to Annex G).

4.4.22 Magnetic fields

4.4.22.1 Magnetic shielding

Purpose: To determine the influence of an external magnetic field on a component.

Procedure: The component shall be placed in a uniform alternating magnetic field of the specified strength and frequency and the voltage across the specified winding shall be measured with a voltage detector having an input impedance of not less than 1 MΩ. The component shall be rotated and the maximum voltage recorded.

NOTE A uniform field is produced by a Helmholtz structure (see Figure 29) with a coil diameter at least twice the maximum dimension of the component. With the coils connected in series-aiding, a simplified formula for the field strength H generated by the Helmholtz coil is:

$$H = \frac{0,716N \cdot i}{r}$$

where

⁷ Committees involved in the publication of EMC documents include: TC 65: Industrial-process measurement and control; TC 77: Electromagnetic compatibility and CISPR: International special committee on radio interference. (Details of the publications are given on the IEC website.)

N is the number of turns of each coil;

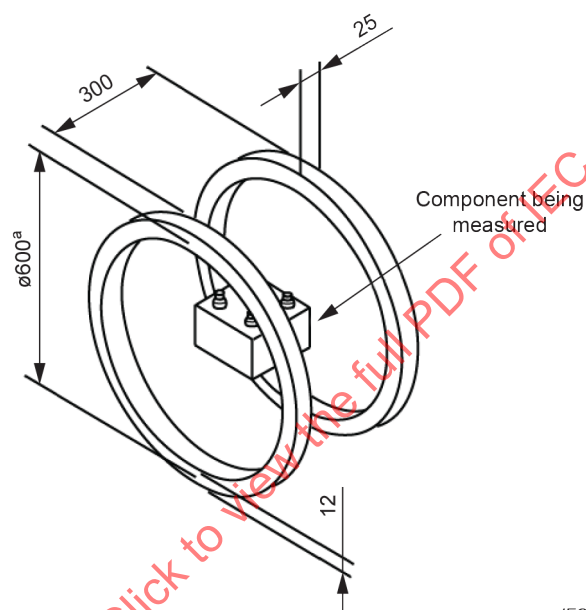
r is the coil radius (i.e. coil axial spacing) (in metres);

i is the peak current (in amperes).

Dimensions of the Helmholtz structure for components of up to 275 mm maximum dimension are given in Figure 29, each coil consisting of 1 500 turns of 0,2 mm diameter wire.

Information to be stated:

- a) magnetic field strength in A/m;
- b) frequency of the alternating magnetic field;
- c) winding whose output voltage is to be measured;
- d) axes of rotation.



IEC

^a mean

Figure 29 – Helmholtz structure

4.4.22.2 Magnetic influence (compass safe distance)

Purpose: To determine the minimum distance from a compass at which a transformer or similar wound component can be placed to limit the deviation to a stated value under all conditions of operation (see 3.9).

Conditions of measurement: Measurements shall be made in a uniform magnetic field. If the horizontal component of this field has a value outside the limits 13 A/m to 16 A/m then the compass safe distance, D_{CS} (in m), shall be calculated from the following expression:

$$D_{CS} = 14,4 \frac{D_m}{H}$$

where

D_m is the measured distance (in m);

H is the actual field strength (in A/m).

Procedure: The test area shall be marked out with magnetic N–S and E–W lines and a suitable magnetometer placed at the intersection of these lines. The magnetometer (which may be a compass) shall be capable of being read to an accuracy of one–fifth of a degree and shall possess a corresponding sensitivity.

The component under test shall be placed on the E–W line at a distance from the magnetometer that gives a deviation of approximately 2°.

Experiments shall be made to determine the combination of attitude and degree of energization that gives the maximum deviation of the magnetometer. This combination shall be maintained while the component is moved outwards along the E–W line until the magnetometer deviation is approximately 0,5°. From readings taken at intervals during this movement a curve shall be plotted showing magnetometer deviation against distance.

As a check on experimental error a curve shall also be plotted to correspond to an inward movement of the component. The two curves, which should be substantially coincidental, shall be used to establish accurately the distance at which a 1° deviation of the magnetometer is experienced. This distance shall be recorded as the compass safe distance for the component.

The compass safe distance of equipment that produces a significant directional magnetic effect shall be measured if so required along other axes defined by the relevant specification and its value declared.

Information to be stated:

- the connections to be made to the component under test.

4.4.22.3 Magnetic radiation

Purpose: To determine the extent of the magnetic influence of a component on its environment.

Procedure: The component shall be located at the centre of a non-metallic (insulating) cube fixture that will permit the centre of a search coil to be moved freely over the surfaces of the whole area of the external faces of the cube.

Cube dimensions, together with corresponding search coil data, shall be as in Table 4.

Table 4 – Cube dimensions, together with corresponding search coil data

Operating frequency band	Cube fixture dimension mm	Search coil data
10 Hz to 150 Hz	300	1 500 turns of enamelled copper wire, 0,315 mm diameter, wound into a coil, 285 mm internal diameter, 75 mm long
150 Hz to 30 kHz	150	Single-turn loop of 1 mm wire, 150 mm diameter
30 kHz to 5 MHz	75	Single-turn loop of 1 mm wire, 75 mm diameter
Above 5 MHz	37	Single-turn loop of 0,71 mm wire, 37 mm diameter

With the component energized and loaded as specified, the external faces of the cubic fixture shall be scanned and the maximum peak output voltage indicated by means of a high impedance detector connected across the search coil shall be noted. This value shall not exceed the limit specified in the relevant specification.

Information to be stated:

- a) alternating voltage level(s);
- b) measuring frequency(ies);
- c) load impedance(s);
- d) if required, the limit values of the peak voltage across the search coil.

4.4.23 Inrush current

Since it is considered that inrush current is primarily significant for complete equipment rather than individual components, no test methods are included in this document.

4.5 Environmental test procedures**4.5.1 General****4.5.1.1 Capability approval**

The test conditions together with the initial, final and intermediate measurements to be made shall be as specified by the relevant schedule in a future IEC document.

4.5.1.2 Quality conformance inspection

Where environmental tests are specified by a detail specification, use can be made of the procedures (if applicable) listed below, which, with the exception of the tests for fire hazard, are taken from the relevant part of IEC 60068-2.

NOTE Users will ensure that they are in possession of the appropriate issued texts.

Alternatively the detail specification writer may choose the test conditions from the options given in the relevant part of IEC 60068.

The severity of the test, and the initial, final and intermediate measurements to be made shall be given in the quality conformance schedule of the detail specification.

4.5.2 Soldering

IEC 60068-2-20, Test T. The appropriate test method of Test Ta, as specified in the detail specification, shall be used for the determination of the solderability of wire and tag terminations.

For components intended exclusively for printed wiring applications, only Method 1 of Test Ta should be used.

NOTE Where the resistance of components to soldering heat is specified, Method 1B of Test Tb applies.

The relevance of IEC 60068-2-58, Test Td, should be noted for application to such devices.

4.5.3 Robustness of terminations and integral mounting devices

IEC 60068-2-21, Test U. Tests Ua1, Ua2, Ub, Uc or Ud shall be used as specified in the detail specification according to the type of termination. As a result of the test there shall be no visible damage to the termination, fixing or sealing and connections to the terminations shall be satisfactory when tested in accordance with 4.2.2.

4.5.4 Shock

IEC 60068-2-27, Test Ea and guidance.

4.5.5 Bump

IEC 60068-2-27, Test Ea and guidance.

4.5.6 Vibration (sinusoidal)

IEC 60068-2-6, Test Fc and guidance.

4.5.7 Acceleration, steady state

IEC 60068-2-7, Test Ga and guidance.

4.5.8 Rapid change of temperature (thermal shock in air)

IEC 60068-2-14, Test N. Test Na as specified.

4.5.9 Sealing

IEC 60068-2-17, Test Q. Test Qc or Qd as specified.

4.5.10 Climatic sequence

The following test sequence shall be applied:

- a) Dry heat, Test Ba. The specimen shall be subjected to Test Ba of IEC 60068-2-2 at the upper category temperature. Duration 16 h.
- b) Interval 1. An interval not exceeding 72 h is permitted at this stage of the procedure; during the interval the specimen shall be kept at a temperature between 15 °C and 35 °C under normal laboratory conditions.
- c) Damp heat (cyclic), Test Db. Any specimen with a climatic category of –/–/10, –/–/21 or –/–/56 shall be subjected to Test Db of IEC 60068-2-30 at severity b) 55 °C for 1 cycle, variant 1, followed by a recovery period of between 1 h 30 to 2 h.
- d) Cold, Test Aa. Immediately after the damp heat cycle of c) the specimen shall be subjected to Test Aa of IEC 60068-2-1 for a period of 2 h at lower category temperature.
- e) Interval 2. An interval not exceeding 72 h is permitted at this stage of the procedure; during the interval the specimen shall be kept between 15 °C and 35 °C under normal laboratory conditions.
- f) Low air pressure, Test M. If required (see Note), any specimen with a climatic category 40/–/–, 55/–/– or 65/–/– shall be subjected to IEC 60068-2-13, Test M, at the specified degree of severity. The low-pressure conditioning shall be carried out between 15 °C and 35 °C for 1 h, unless otherwise specified in the detail specification.
- g) Interval 3. An interval not exceeding 72 h is permitted at this stage of the procedure only if the low air-pressure test of f) has been carried out; during the interval the specimen shall be kept between 15 °C and 35 °C under normal laboratory conditions.
- h) Damp heat (cyclic), Test Db. Specimens of category –/–/10, –/–/21 and –/–/56 shall then be subjected to Test Db of IEC 60068-2-30 at severity b) 55 °C for 1 cycle, variant 1.
Where specified the specimen shall be removed from the chamber after the specified number of cycles, shaken to remove droplets of water and within 15 min shall be subjected to relevant electrical and mechanical tests.
- i) Recovery. The specimen shall be allowed to recover for between 1,5 h and 2 h under standard conditions for recovery.

NOTE For capability approval the low air-pressure test is optional.

4.5.11 Damp heat, steady state

IEC 60068-2-78, Test Ca.

4.5.12 Dry heat

IEC 60068-2-2, Test B.

4.5.13 Mould growth

IEC 60068-2-10, Test J and guidance.

4.5.14 Salt mist, cyclic (sodium chloride solution)

IEC 60068-2-52, Test Kb.

Where Test Kb is specified and a salt solution could be used which corresponds to a marine environment, the following composition is recommended.

sodium chloride NaCl	26,5 g
magnesium chloride MgCl ₂	2,4 g
magnesium sulphate MgSO ₄	3,3 g
calcium chloride CaCl ₂	1,1 g
potassium chloride KCl	0,73 g
sodium bicarbonate NaHCO ₃	0,20 g
Sodium bromide NaBr	0,28 g
distilled water to make up 1 L	

(The above masses shall be accurate to within $\pm 10\%$; they refer to anhydrous salts of laboratory reagent grade.)

4.5.15 Sulphur dioxide test for contacts and connections

IEC 60068-2-42, Test Kc.

4.5.16 Fire hazard

The test for fire hazard shall be selected from IEC 60695-11-2 or IEC 60695-11-5.

NOTE The IEC 60695-11-5, needle-flame test is more appropriate for small components. The Bunsen-type flame test of IEC 60695-11-2 is more appropriate for larger components.

4.5.17 Immersion in cleaning solvents

IEC 60068-2-45, Test XA and guidance.

4.6 Endurance test procedures**4.6.1 Short-term endurance (load run)**

Purpose: To assess the capability of the component to function satisfactorily during continuous operation or during duty cycles specified in the detail specification.

Procedure: The component shall be free-standing on a surface of low thermal conductivity, unless otherwise specified in the detail specification.

- a) For transformers, separate loads shall be connected to each winding as specified in the detail specification. The value of these loads shall be such that the maximum rated power of each winding will be dissipated, unless otherwise specified in the detail specification.

An appropriate power supply shall be connected to the input winding and applied continuously for 6 h under standard atmospheric conditions, unless otherwise specified in

the detail specification. During the load run, the load(s) shall be adjusted as necessary to ensure that the specified load conditions are maintained.

- b) For inductors, the rated ripple voltage shall be applied, and the rated polarizing current passed continuously for 6 h under standard atmospheric conditions, unless otherwise specified in the detail specification. During the load run, the supply or supplies shall be adjusted as necessary to ensure that the rated conditions are maintained.

Information to be stated in the detail specification:

- a) input supply conditions as appropriate:
 - rated voltage and frequency;
 - rated pulse duration and repetition frequency;
 - rated polarizing direct current, ripple frequency and voltage;
- b) load conditions of the output winding(s);
- c) duration of test, if other than 6 h;
- d) details of the duty cycle, if other than continuous;
- e) atmospheric conditions for test, if other than standard;
- f) details of mounting, if other than free-standing on a surface of low thermal conductivity;
- g) requirements to be satisfied during and at the end of the test.

4.6.2 Long-term endurance (life test)

Purpose: To determine the capability of a component to withstand repetitive cycles of operation under the load conditions specified in the detail specification.

Procedure: The component shall be free-standing on a surface of low thermal conductivity, unless otherwise specified in the detail specification.

- a) For transformers, separate loads shall be connected to each winding as specified in the detail specification. The value of these loads shall be such that the maximum rated power of each winding will be dissipated, unless otherwise specified in the detail specification.
- b) For inductors, the rated ripple voltage shall be applied and the rated polarizing current shall be passed through the winding.
- c) Components shall be subjected to a minimum of five endurance cycles per week to a total of 85 cycles. Each of the cycles shall consist of 24 h, during which time the components shall be energized at the upper category temperature for 20 h continuously, and for the remaining 4 h the component shall be kept without excitation under standard atmospheric conditions.

Information to be stated in the detail specification:

- a) input supply conditions as appropriate:
 - rated voltage and frequency;
 - the rated pulse duration and repetition frequency;
 - the rated polarizing direct current, ripple frequency and voltage;
- b) load conditions of the output winding(s);
- c) details of the duty cycle, if other than continuous;
- d) details of mounting, if other than free-standing, on a surface of low thermal conductivity;
- e) requirements to be satisfied during and at the end of the test.

Annex A (normative)

DC resistance test

A.1 General

A number of tests for measuring the DC resistance of transformer and inductor coils is presented in Annex A. The range of resistance values that can be measured using these tests varies from a few micro ohms to many thousands of ohms. The recommended methods of testing DC resistance are the kelvin double bridge for resistance values less than $1\ \Omega$ and the Wheatstone bridge for resistance values greater than $1\ \Omega$. The digital ohmmeter is recommended for both of these resistance ranges. The ammeter-voltmeter and substitution methods are presented for possible use when the previously mentioned equipment is not available.

Methods of measurement that are suitable for measurements above $1\ \Omega$ can be unsuitable for low-resistance measurements chiefly because contact resistance causes serious errors.

It is usually essential with low resistance that the two points between which the resistance shall be measured be very precisely defined. The methods that are specially adapted to low-resistance measurement employ potential connections, i.e., connecting leads that form no part of the circuit whose resistance is to be measured but that connect two points in this circuit to the measuring circuit. These two points are referred to as the potential terminals and serve to fix, definitely, the length of the circuit under test. In the methods used for the precise measurement of low resistance, the "unknown" resistance is compared with a low-resistance standard of the same order as the unknown, and with which it is connected in series. Both resistances are fitted with four terminals, two current terminals to be connected to the supply circuit and two potential terminals to be connected to the measuring circuit. This arrangement is shown in Figure A.1.

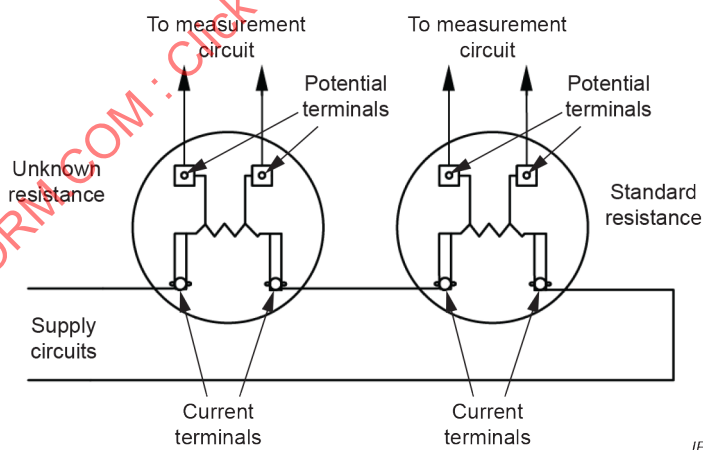


Figure A.1 – Measurement of low resistance

A.2 Resistance values under $1\ \Omega$ – Kelvin double-bridge method

This method is a development of the Wheatstone bridge by which the errors due to contact and lead resistances are eliminated. The connections of the bridge are shown in Figure A.2.

X is the low resistance to be measured and S is the standard resistance of the same order of magnitude. These are connected in series with a low-resistance link r , connecting their adjacent current terminals. A current is passed through them from a battery supply. A regulating resistance and an ammeter are connected in the circuit for convenience. Q , M , q ,

and m are four known non-inductive resistances, one pair of which (M and m or Q and q) is variable. These are connected to form two sets of ratios as shown, a sensitive galvanometer G connecting the dividing points of QM and qm . The ratio Q/M is kept the same as q/m , these ratios being varied until zero deflection of the galvanometer is obtained. Then $X/S = Q/M = q/m$, from which X is obtained in terms of S , Q , and M :

$$X = \frac{Q}{M} S$$

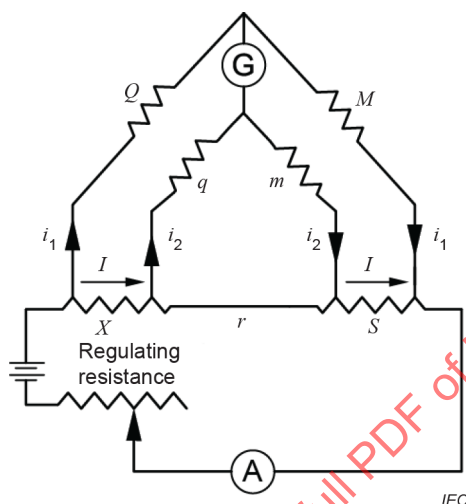


Figure A.2 – Kelvin double-bridge method of measuring low resistance

In order to take into account thermoelectric electromotive forces (EMFs), a measurement should be made with the direction of the current reversed, and the mean of the two readings should be taken as the correct value of X .

A.3 Resistance values from 1 Ω to many kilo-ohms

A.3.1 General

The methods used for this range of measurements are as follows:

- ammeter and voltmeter;
- substitution method;
- Wheatstone bridge;
- ohmmeter;
- digital ohmmeter.

A.3.2 Ammeter and voltmeter method

This method, which is the simplest of all, is in common use for the measurement of low resistances when an accuracy of 1 % is sufficient. However, this is a relatively rough method, the accuracy being limited by that of the ammeter and voltmeter used, even if corrections are made for the "shunting" effect of the voltmeter. In Figure A.3, R is the resistance to be measured and V is a high-resistance voltmeter of resistance R_V . A current from a steady DC supply is passed through R in series with a suitable ammeter.

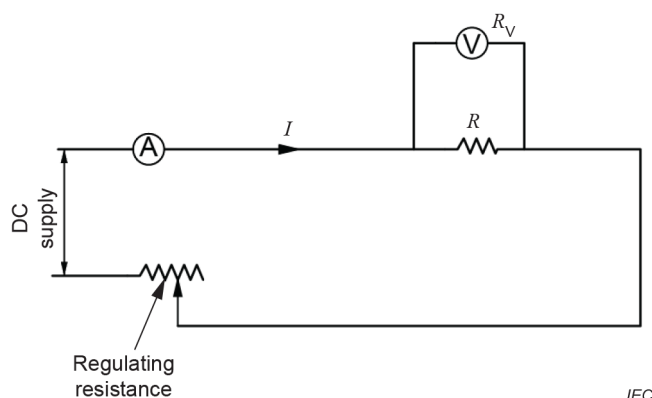


Figure A.3 – Ammeter and voltmeter method of resistance measurement

Assuming the current through the unknown resistance to be the same as that measured by the ammeter A, the unknown resistance is given by

$$R_m = \frac{U}{I}$$

If the voltmeter resistance is not very large compared with the resistance to be measured, the voltmeter current will be an appreciable fraction of current I , measured by the ammeter, and a serious error can result.

To correct for the shunting effect of the voltmeter, if the actual value of the unknown resistance is R , its measured value R_m , the voltmeter and R in parallel are

$$R_m = \frac{R \cdot R_V}{R + R_V}$$

and the voltage drop across R is

$$U = I \frac{R \cdot R_V}{R + R_V}$$

Then, assuming voltmeter and ammeter to be reading correctly

$$R = \frac{R_m \cdot R_V}{R_V - R_m}$$

The current I required to give an acceptable reading for the voltmeter should not cause a heating of the resistor.

A.3.3 Substitution method

The diagram of connections for this method is given in Figure A.4. X is the resistance to be measured while R is a variable known resistance. A battery of adequate capacity is used for the supply, since it is important in this method that the supply voltage be a constant. A is an ammeter of suitable range or a galvanometer with a shunt that can be varied as required.

With switch S_2 closed and switch S_1 on stud a, the deflection of the ammeter or galvanometer is observed. S_1 is then closed onto stud b, and the variable resistance is adjusted until the same deflection is obtained on the indicator. The value of R that produces the same deflection gives the resistance of the unknown directly.

The resistances R and X should be large compared with the resistance of the rest of the circuit.

The accuracy of the measurement depends upon the consistency of the supply voltage upon the sensitivity of the indicating instrument as well as the accuracy with which the resistance R is known.

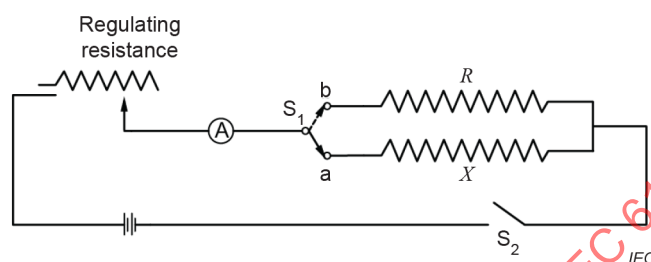


Figure A.4 – Measurement of resistance by substitution

A.3.4 Wheatstone bridge

The general arrangement is shown in Figure A.5. P and Q are known fixed resistors, S being a known variable resistance, and R the unknown resistance. G is a sensitive galvanometer shunted by a variable resistance N to avoid excessive deflection of the galvanometer when the bridge is out of balance. This shunt is increased as the bridge approaches balance so that the shunting is zero, giving the full sensitivity of the galvanometer when balance is almost obtained. B is a battery and M is a reversing switch, so that the battery connections to the bridge may be reversed and two separate measurements of the unknown resistance may be made in order to eliminate thermoelectric errors. The battery switch K_B should be closed first, followed by the closing of K_G after a short interval. This avoids a sudden (possibly excessive) galvanometer deflection due to self-induced EMFs when the unknown resistance R has appreciable self-inductance.

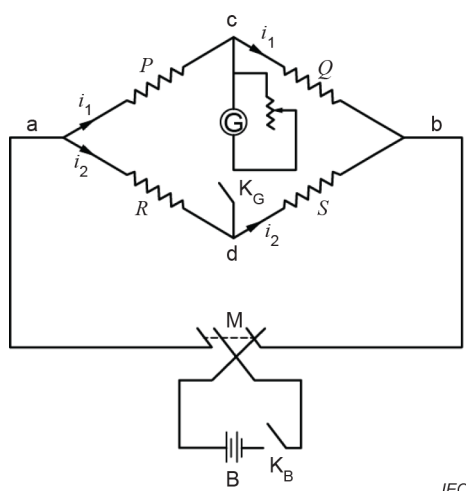


Figure A.5 – Connections of Wheatstone bridge

At balance (obtained by adjustment of S) the same current i_1 flows in both arms P and Q since the galvanometer takes no current, and the same current i_2 flows in arms R and S .

The voltage drop across arm P equals the voltage drop across arm R , and the voltage drop across arm Q equals the voltage drop across arm S . Then

$$i_1 \cdot P = i_2 \cdot R$$

$$i_1 \cdot Q = i_2 \cdot S$$

$$R = \frac{P \cdot S}{Q}$$

Arms P and Q are the "ratio arms" of the bridge, and the ratio P/Q may be varied as required to increase the range of the bridge.

Wheatstone bridges are normally constructed with either four or six pairs of ratio coils (tens, hundreds, thousands, and ten thousands in the bridge containing four pairs) and either four or five decades of resistance coils that constitute the variable arm S .

A.3.5 Ohmmeter

The ohmmeter has a moving coil meter, a dry cell, a fixed resistor R_1 and a variable resistance R_2 , all mounted within the instrument (Figure A.6). The unknown resistance R to be measured is connected across the two terminals A and B when the battery circuit is completed. The current flowing through the meter depends on the total resistance of this circuit of which R forms a part, and if R is large the current is small, while if R is small the current is large. The dial of the meter is marked to read directly in ohms. The meter reading would depend to some degree on the state of the battery, but this difficulty is avoided by adjusting the instrument just before each measurement as follows.

Terminals A and B are first short-circuited by a thick piece of copper wire of negligible resistance, and R_2 is adjusted until the meter shows its maximum deflection, indicating zero resistance. The copper wire is then removed and the resistance to be measured is connected across AB, and the deflection of the pointer indicates the value of R . The instrument scale is very cramped at the higher resistance end, for the deflections correspond more to values of I/R than of R , and it is most sensitive for low resistances. Usually several ranges of resistance are marked on the dial (e.g., 0 Ω to 1 000 Ω , 0 Ω to 10 000 Ω , 1 Ω to 100 000 Ω).

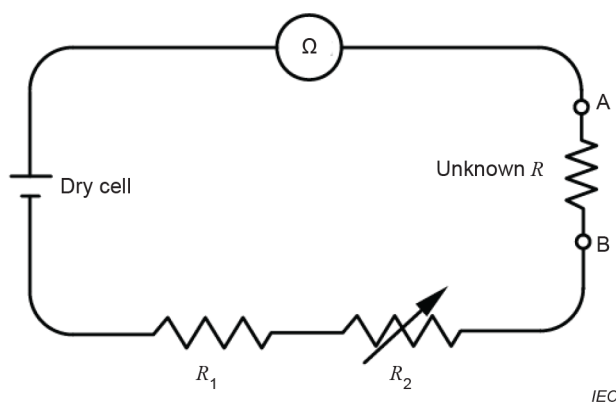


Figure A.6 – Principle of series ohmmeter

A.4 Digital ohmmeter – Resistance values from under 1 Ω to many kilo-ohms

This method is a further development of the ammeter and voltmeter method. The general arrangement of this test method is shown in Figure A.7. Digital ohmmeters utilize constant current sources, digital electronics, and four-terminal connections to provide an accurate indication of resistance values.

Digital ohmmeters provided as dedicated stand-alone instruments incorporating the previously mentioned technologies can provide accurate measurements of resistance from a few micro-ohms to many kilo-ohms. Digital ohmmeters provided as one of the functions of a digital multimeter generally do not incorporate all the previously indicated technologies.

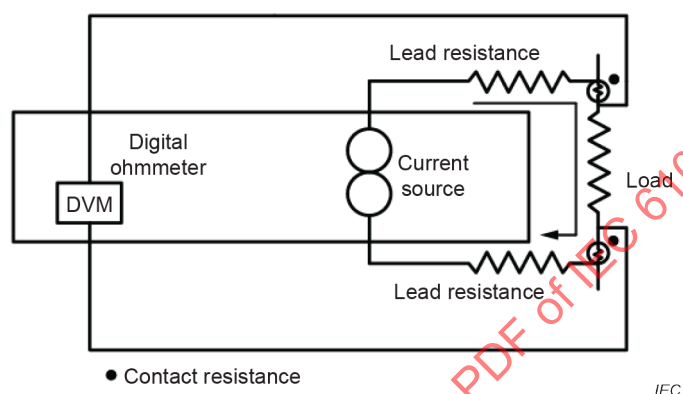


Figure A.7 – Digital ohmmeter method of resistance measurement

NOTE Digital ohmmeters that utilize pulsed DC current sources, as opposed to constant DC sources, can introduce errors due to the inductance associated with the coil's winding.

The accuracy of this type of digital ohmmeter is limited at lower values of resistance. Vendor specifications for the accuracy of these devices should be checked against the measurement requirements.

Annex B (normative)

Dielectric voltage withstand test

Electric strength testing shall always be done with all the windings short-circuited. Windings and shields on one side of the insulation system should be connected to frame and ground, while windings and shields on the other side should be connected together (see Figure B.1 and Figure B.2). An essentially sine-wave voltage with a frequency in the range of 45 Hz to 65 Hz, having adequate current capacity for the application, is applied to the two sets of terminals. The criterion for passing this test is that no electrical breakdown occurs. All voltages should be defined in the same terms (e.g., root mean square (RMS)), peak, or average).

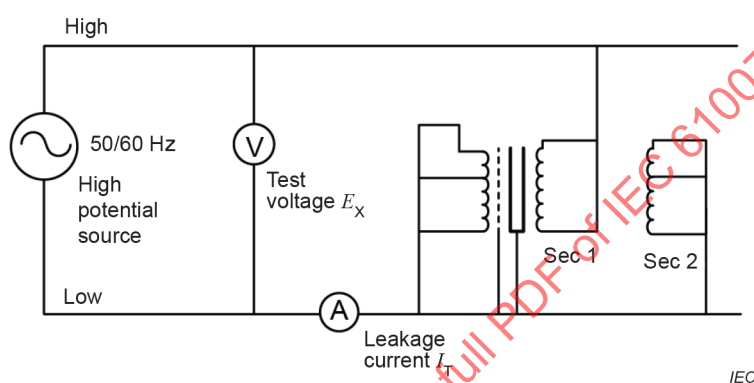


Figure B.1– Typical high-potential test, showing section 1 under test

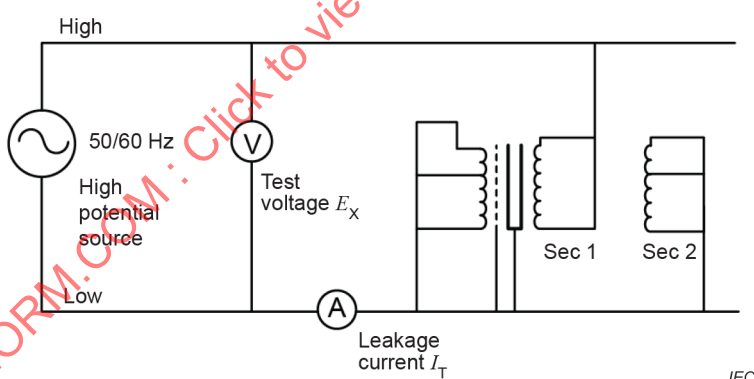


Figure B.2– Typical high-potential test of inductor

The voltage should be increased at a convenient rate of not greater than 2 000 V/s from zero to the specified value, maintained for 1 min (unless breakdown occurs), and then decreased to zero at the same rate. For production purposes, a voltage 20 % higher may be specified for 2 s.

- Primary windings with rated voltages 600 V or less line-to-line should be tested at an alternating voltage equal to twice the rated voltage of the highest tap plus 1 000 V RMS, unless otherwise specified.
- Primary windings with rated voltages over 600 V line-to-line should be tested in accordance with IEEE C57.12.91-2011, unless otherwise specified.
- Secondary windings that have no special test voltage specified should be tested with applied alternating voltage equal to twice the rated voltage of the highest voltage tap plus 1 000 V RMS, unless otherwise specified.

- d) Secondary windings that can have a specific operating direct or alternating voltage derived elsewhere, unless otherwise specified, should be tested at twice the working voltage plus 1 000 V RMS. High alternating voltage should not be substituted for a direct voltage unless agreed upon between user and manufacturer.
- e) Inductors used in line-voltage circuits should be tested in accordance with item a) or b), as applicable. Inductors used in transformer secondary winding circuits should be tested in accordance with item c) or d), as applicable.
- f) In case of repeated electric strength testing, since the application of test potentials can impair the strength of the transformer or inductor insulation, any test carried out in accordance with items a) through e) should, if repeated, be made at not more than 80 % of the specified test potential for the same time interval.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61007:2020

Annex C (normative)

Induced voltage test

C.1 Induced voltage test

This test applies primarily to insulation systems between layers of windings and between adjacent turns of windings under simulated abnormal functional conditions.

Each secondary winding shall be terminated in an open circuit or into a load resistance that is not less than 2,5 times its normal operating load resistance. All terminals normally grounded shall be grounded during this test and any windings normally biased shall be biased for this test.

C.2 General test conditions

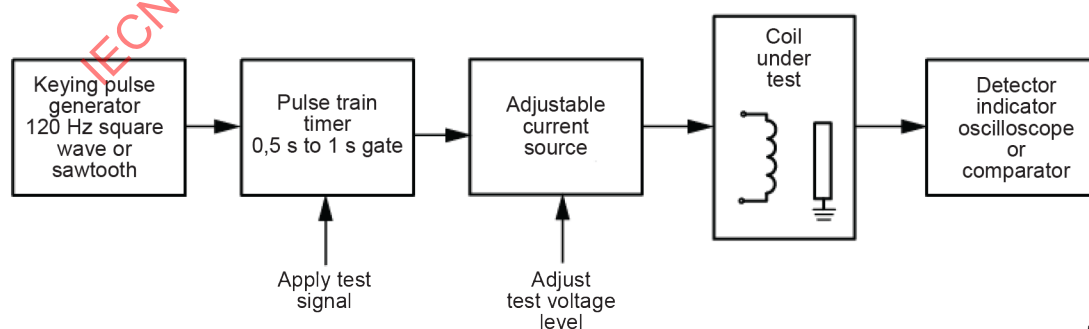
Transformers normally driven by a voltage pulse train with pulse duration modulation (or pulse time modulation) should withstand, across the primary, an induced voltage pulse train for 1 min or 7 200 cycles, whichever is less, with each pulse having an amplitude equal to twice the highest normal operating voltage. The pulse should have a duration equal to half the longest normal pulse duration such that the test voltage–time product does not exceed the normal maximum operating voltage–time product.

An alternative test is based on current interruption in an inductance producing a voltage pulse, as follows:

$$E = L \frac{di}{dt}$$

C.3 General test methods

By means of the induced potential surge test, electrical coils can be conveniently tested for the integrity of turn-to-turn and layer-to-layer insulation by means of high-voltage pulses generated within the coil (Figure C.1).



IEC

Figure C.1 – Block diagram of induced voltage surge test

This type of testing is especially applicable to coils wound without interlayer insulation, in a random, controlled random, universal, or layer-wound manner, since the method can cause failure of the coil when one or more of the following faults exist:

- insufficient crossover lead insulation;
- end turns dropped several layers;
- poor-quality wire insulation with breaks or thin spots;
- wire insulation damaged by dereeler or tension device;
- wire insulation damaged by incompatible impregnant or solvent.

It should be kept in mind that the test itself is destructive in nature and cannot be applied to a sound coil for an extended period. Therefore, the test duration should be carefully controlled to limit it to the minimum time required to obtain a meaningful indication.

The test consists in applying a controlled train of current pulses to the coil. The leading edge of the pulses may have a moderate slope to allow the current in the coil to rise to a predetermined level. Once this level is reached, the current is disconnected from the coil, and the resultant voltage rise, due to the fast collapse of the current through the inductance of the coil, is observed on an oscilloscope or by means of a comparator to establish the peak value reached:

$$E = L \frac{di}{dt}$$

The coil should be unloaded during this observation so that the voltage is not limited by some unspecified loading. A high-impedance input oscilloscope coupled to the circuit with a frequency-compensated high-impedance voltage divider may be used. Loading should be of the order of 1 MΩ to 10 MΩ.

It is not necessary to have a horizontal sweep operating on the oscilloscope. Prior to the application of the test, the spot on the oscilloscope can be conveniently centered horizontally and can rest on some base level near the bottom of the screen. During the test the excursion of the spot is observed against the calibration of the screen, which acts as a peak reading voltmeter. A 0,5 s to 1,0 s time interval at a 120 Hz rate is sufficient to allow an operator to visually detect any drop or instability in the image caused by internal short circuits that load the coil.

A more sophisticated method uses a comparator consisting of a DC-biased diode bucked against the rising waveform as a detecting device. With the DC bias set to the desired test voltage level, the peak current through the coil is adjusted until the peak exceeds the DC bias by some predetermined amount (10 V to 20 V). The top of the pulse train is clipped and fed to a counter. Pass or fail can be determined by comparing the count with the total number of pulses. If the clipped pulse count is less than the total number of pulses applied by more than, for example, two or three counts, a failure indication is obtained.

In order to ensure the successful generation of high-voltage pulses without the use of excessive current, the test coil should be placed over an iron core during the test. Best results are obtained from cores made up of thin nickel-iron laminations. The core should be grounded for operator protection.

As a precaution against unwarranted damage to the coil, the test current should always be increased from zero until the observation yields the desired voltage level. A test coil may be used for calibration and saved if production of an item is apt to be repeated. The proper current level set on this coil can then be used on the production coils without further adjustment.

Some suggestions as to the determination of the desired voltage level to be used in a specific coil follow.

Assume a coil consisting of 10 000 turns of 36 AWG magnet wire with an insulation rated at 15,75 kV/mm, wound on a form with 250 turns per layer, and therefore having 40 layers. The insulation thickness of the wire is 0,000 5 in; therefore two wires laid tightly side by side, having $2 \times 0,000\ 5$ in separation (0,001 in) should withstand 400 V for an extended time.

The voltage across each layer is obviously 1/40 of the total voltage across the coil. Therefore, the maximum voltage between two wires touching one another, if there is no drop-off at the ends of the coil, occurs between the end turns on adjacent layers and amounts to 1/20 of the voltage across the entire coil.

Suppose the test criterion is that a coil where the end turn drops two layers should be acceptable. The voltage between these turns then can be 1/10 of the total across the coil. If 400 V is a passing level, then 400 times 10, or 4 000 V, should be the peak voltage generated in the coil.

It can be seen from the preceding text that long coils with fewer layers are more apt to fail a surge test than short coils of many layers.

In the preceding example, it now becomes obvious that the crossover lead insulation should withstand at least 4 000 V peak.

C.4 Induced excitation voltage and frequency

Transformers normally driven by a sine-wave or square-wave source should withstand, across the primary, an induced voltage of twice the highest normal operating voltage at a frequency of twice the normal operating frequency.

C.5 Repeated induced voltage testing

In case of repeated induced voltage testing, since the application of test potentials can impair the strength of the transformer insulation, any test carried out in accordance with 4.4.2.2 should, if repeated, be made at not more than 90 % of the specified test potential for the same time interval.

C.6 Excitation current

The input currents should be monitored during the test to check for erratic variations in value. A subsequent normal excitation test should not show a significant change in value from that of a previous test.

Annex D (normative)

No-load loss

D.1 General

Transformer no-load loss is defined as the power measured in one transformer winding under specified conditions of excitation and with the voltage–current product equal to zero in all other windings of the transformer. For voltage transformers, the voltage current product is zero when the winding is open–circuited; for current transformers, when the winding is short–circuited. The following discussions refer only to voltage transformers; tests associated with current transformers are presented in 4.4.7.4. The term no-load loss is often used interchangeably with the terms core loss, magnetic loss, or excitation loss, and, under many conditions of operation, there is little difference between the no-load loss and the loss components described by the other three terms. In general there are three components of transformer no-load loss: core loss, ohmic loss in the winding being excited, and (in high–voltage transformers) dielectric loss. In transformers with a magnetic core, the core-loss component is usually much larger in magnitude than the other two components. However, in air-core transformers this component is zero.

The core-loss component of no-load loss is a function of several parameters determined by the source used to excite the transformer. This is a nonlinear functional dependence, which also varies greatly with the type and construction of core material. The principal characteristics of the excitation source affecting transformer core loss are its frequency, waveshape, and voltage (as it affects the magnetic flux density in the core). These parameters, along with the ambient or core temperature, should be specified for all no-load tests.

D.2 Excitation waveform

D.2.1 General

Until recently, most transformer and core testing was specified in terms of the parameters associated with sinusoidal excitation; most core-loss data supplied by the manufacturers of core material are still given only for sinusoidal excitation. Tests using only sinusoidal excitation may not give an adequate measure of the transformer core loss for specific non-sine-driven applications, such as in inverter circuits, choppers, switching circuits, and various pulse applications. Therefore the no-load test excitation source should be specified to be as close as possible to that which will excite the transformer in actual operation. Guidelines for specifying source waveforms are discussed below.

D.2.2 Sine-voltage (sine-flux) excitation

The core is excited with a sinusoidal alternating voltage source of very low internal impedance to minimize distortion caused by the nonlinear exciting current. The total harmonic distortion of the induced voltage should be less than 5 % in order for this distortion not to affect core loss. This is a very common mode of excitation for core-loss testing and the one by which most manufacturers' loss data are obtained. It is the most repeatable measurement for correlating among different test laboratories, including between manufacturer and user, and comparing one manufacturer with another. Magnetic flux density and induced voltage are related by the following well-known relationship (Faraday's law):

$$E = 4,44N \cdot f \cdot A \cdot B_m$$

where

N is the excited winding turns;

f is the excitation frequency, in Hz;

A is the transformer core's effective area, in m²;

B_m is the maximum or peak flux density, in T;

E is the RMS induced voltage, in V.

Note that the constant 4,44 results from the values relating the average and RMS values to the maximum values that are peculiar to a sine wave:

$$M_{av} = \frac{2}{\pi} M_m, \quad M_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2}} M_m$$

D.2.3 Sine-current excitation

The core is excited with a sinusoidal current provided by a high-impedance source to minimize the distortion of the current wave by the voltage induced across the core winding. This induced voltage and the associated flux density in the core will generally be non-sinusoidal due to the nonlinear B–H characteristic of the core material. There is no simple relationship between flux density and voltage as in D.2.2. Peak flux density can be determined graphically from the core material B–H characteristic and the specified input current, if desired. One method for specifying the current source for this type of excitation is given in IEEE 393–1991, 6.4.1.

D.2.4 Square-wave voltage excitation

The core is excited with an alternating square-wave voltage source of very low output impedance to minimize distortion caused by the nonlinear exciting current. The auxiliary-commutated silicon controlled rectifier (SCR) bridge inverter, or McMurray-Bedford inverter⁸, with lead-acid battery energy source, is a simple circuit for achieving such a square-wave excitation source, although many commercial inverters are readily available. With ideal square-wave excitation from a low-impedance source, the flux-density variation in the transformer core is triangular in shape as shown in Figure D.1, and the maximum flux density in the core is related to the induced voltage by the relationship

$$E = 4N \cdot f \cdot A \cdot B_m$$

where

E is the maximum, RMS, and half-wave average of the square-wave-induced voltage;

N is the excited winding turns;

f is the excitation frequency, in Hz;

A is the transformer's core effective area, in m²;

B_m is the maximum or peak flux density, in T.

⁸ General Electric SCR Manual, 5th ed., 1972.

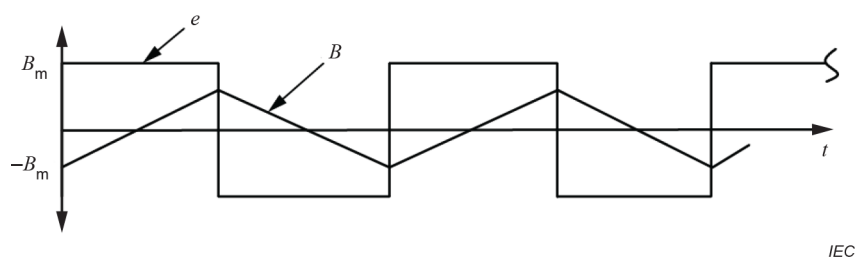


Figure D.1 – Triangular flux-density variation in transformer core

In practical circuits the ideal square-wave voltage source can seldom be realized. Therefore, for the purposes of no-load transformer loss testing, a source may be considered a square-wave source if it contains the fundamental frequency component and measurable values of all odd harmonics of the fundamental through the 15th harmonic.

D.3 Test method and instrumentation

D.3.1 General

Transformer no-load losses can be measured easily by means of instrumentation available in the usual laboratory. The accuracy of the measurement is a function of the accuracy of the instruments used, and instruments with a rated accuracy of 1 % of full-scale deflection or less are recommended. For measurements in systems with irregular or very non-sinusoidal waveshapes, wattmeters with accuracies of even 1 % will be difficult to find. The simplest test circuit is shown in Figure D.2. The measurement may be performed on any of the transformer windings. Care should be taken to isolate the other windings, which shall be left open-circuited, from test personnel and other equipment. In this circuit an electrodynamic type wattmeter is illustrated.

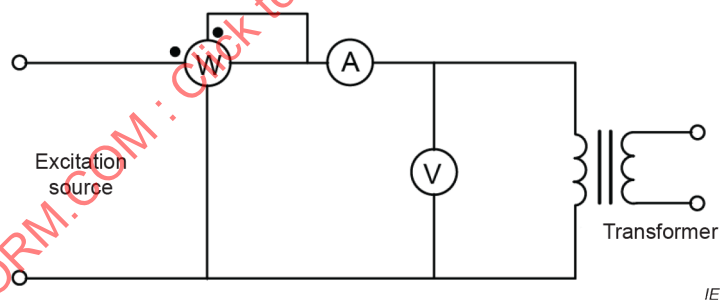


Figure D.2 – Test circuit for transformer no-load losses

D.3.2 Wattmeter

The wattmeter used to measure no-load transformer losses should be of the low-power-factor type, have a frequency response equal to the highest frequency components in the voltage and current signals being measured and have a certified accuracy. The power factors in transformer no-load tests may easily be 0,1 or less, and the wattmeter should be designed and calibrated for power measurements in this power-factor range.

A common type of wattmeter is the electrodynamic (dynamometer) type, which indicates average power. Low-power-factor dynamometer wattmeters are generally calibrated for power factors up to 0,2, which means that the full-scale value on the wattage scale is 0,2 times the product of current-coil rating and voltage-coil rating. The calibrated accuracy of this type of wattmeter is achievable, and an upscale reading is obtained only when current and voltage coils are connected to the proper voltage points in the circuit. Each coil has one terminal designated by a polarity mark ($\pm$), and these terminals should be connected as shown in

Figure D.2. With connections as shown, the power loss in the voltage coil is not included in the wattmeter reading. Standard dynamometer wattmeters have a frequency range up to 800 Hz and accuracies of 0,25 % to 1 % of full scale, and can be used on all sine-voltage or sine-current excitation tests in this frequency range. Specially calibrated low-power-factor instruments for use at excitation frequencies up to 3 200 Hz are also available. Dynamometer wattmeters may also be used with square-wave excitation if the inductive reactance of the voltage-coil circuit is minimized (or compensated for) so as to be 1/1 000 of the voltage-coil circuit resistance at the fundamental frequency of the square wave. However, even with this precaution, the wattmeter reading will be less accurate with square-wave excitation than with sinusoidal excitation due to phase angle errors unless specifically recalibrated with square-wave excitation by means of a calorimeter. In using the circuit of Figure D.2, the sum of the power losses in the voltmeter and ammeter should be less than the wattmeter probable error times the wattmeter scale reading.

NOTE The meter I is shorted out and the meter V is opened to ensure that they do not affect the wattmeter reading.

There are other types of wattmeters that can be used to measure no-load losses in transformers excited by highly non-sinusoidal signals, such as those associated with inverters, SCR choppers, pulse generators, etc. These include thermal, Hall effect, and electronic-multiplier wattmeters. These devices generally have a much higher frequency response than the dynamometer type; however, their accuracies seldom achieve 1 %, and most have not been calibrated for low-power-factor service and can have large phase-angle errors. These wattmeters and their applications are discussed in more detail in IEEE 393–1991, 6.3.2.

D.3.3 Ammeters

A thermocouple (or true RMS responding) meter is suggested for all types of excitation since current during the no-load test is non-sinusoidal except with sine-current excitation. Commercial thermocouple ammeters have frequency response capabilities into the megahertz range and accuracies of 0,5 % to 1 % of full scale, which are adequate for no-load tests. Thermocouple meters indicate true RMS current or voltage regardless of waveshape.

NOTE Care is exercised to avoid introducing errors due to the self-heating effect.

D.3.4 Voltmeters

A thermocouple voltmeter (or true RMS responding) meter is suggested for all the same reasons as discussed in D.3.3.

NOTE Care is exercised to avoid introducing errors due to the self-heating effect.

D.4 Test specifications and results

The transformer no-load loss varies with voltage, frequency, and waveform. These parameters and ambient temperature should be specified for each no-load loss measurement and should be stated when presenting or listing the value of the loss. Specifications for various types of transformer excitation are discussed in Clause D.2. The wattmeter reading represents the total no-load loss of the transformer; the core loss (or excitation loss) is found by subtracting ohmic loss in the excited winding from the no-load loss. The ohmic loss should be calculated using the no-load current measured during the no-load test. In transformers with high-voltage windings, part of the no-load loss can also be composed of dielectric and corona losses. These can be separated from the other no-load losses. For more complete analysis of corona loss, see IEEE 436–1991.

Annex E (normative)

Quality factor, Q

E.1 General

The inductor to be measured is combined with a high-quality capacitor to form an LC circuit resonating at the measuring frequency. A pulse train is applied to this circuit, and the voltage across the inductor between the pulses is displayed on a calibrated oscilloscope. The quality factor of the inductor is calculated from the voltage ratio occurring at a certain time interval as measured on the oscilloscope, taking into account the losses due to circuit components (Figure E.1).

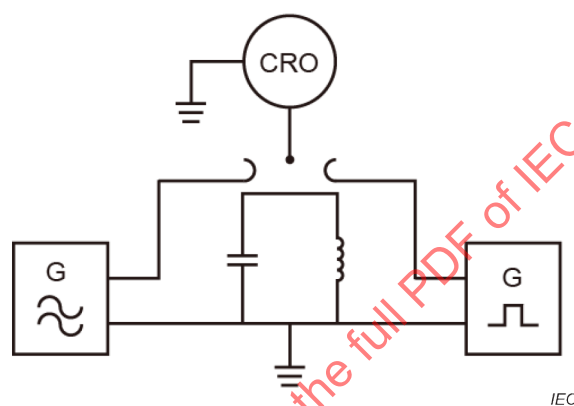


Figure E.1 – Damped oscillation method

E.2 Accuracy

An accuracy of $\pm 4\%$ can be obtained provided the corrections for probe resistance and capacitor loss are relatively small.

E.3 Generators

E.3.1 Signal generator

The frequency range shall coincide with the frequencies at which measurement shall be made. The open circuit output voltage shall be adjustable between 0 V and 10 V.

E.3.2 Pulse generator

The pulse width shall be between 10 μs and 100 μs , and it shall be possible to set the repetition rate at a value between 500 pulses/s and 300 pulses/s. The open-circuit output voltage may, for example, be 100 V.

E.3.3 Antenna

The generators are coupled with the LC circuit by means of a wire placed approximately 20 mm from the connection between inductor and capacitor. To prevent damping of this circuit, the aerial coupling should be kept as small as possible.

E.4 Capacitor

The capacitance value shall be such that the resonance frequency of the LC circuit is sufficiently close to the specified measuring frequency. The quality factor should be as high as possible and be known as accurately as possible to allow for correction. It is recommended that an air dielectric capacity be used.

E.5 Measuring circuit

E.5.1 Oscilloscope

The sensitivity shall not be less than 0,1 mV/mm. The relative inaccuracy of the voltage measurement shall not exceed 1,5 %.

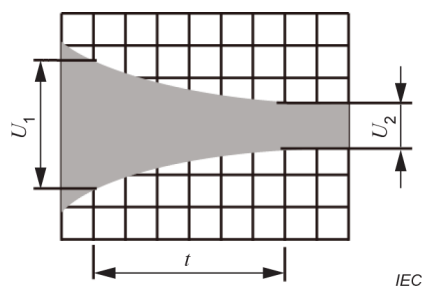
E.5.2 Probe

The input impedance should be as high as is consistent with practical attenuation ratios. The following probe is recommended: attenuation ratio 10:1; input impedance 10 M Ω , 7 pF.

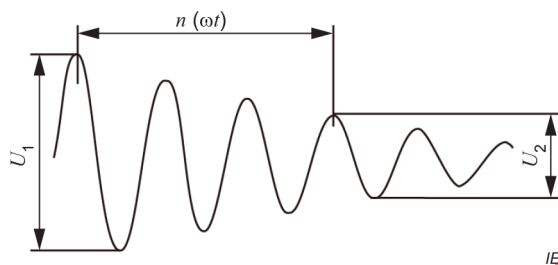
E.6 Measuring procedure

With the pulse generator switched off, the frequency of the oscillator is varied until maximum deflection is obtained on the oscilloscope. The frequency is noted and shall be sufficiently close to the specified measuring frequency. When this is not the case, the capacitance value shall be adjusted. The signal generator is then switched off and the pulse generator is switched on. Its antenna is so adjusted that a reasonable deflection appears on the oscilloscope. The sweep of the oscilloscope is adjusted to obtain a picture in accordance with Figure E.2(a) (for measurement of high-quality factors) or with Figure E.2(b) (for measurement of lower-quality factors). The voltage values at two points of time are read from the oscilloscope, together with either the time interval or the number of cycles between these two values.

The Q -factor for excitation-level sensitive inductors and transformers can depend on the position and magnitude of t (or n) for which the voltages U_1 and U_2 are measured. The higher the Q -factor and the higher the excitation level applied to the LC circuit, the stronger the dependence of the Q -factor on the position and magnitude of t (or n). If accurate Q -factor measurements are required, then the position and magnitude of t (or n) should be specified, or the voltage U_1 and U_2 should be measured during a later period of the dampened oscillations.



(a) For measuring high-quality factors



(b) For measuring lower-quality factors

Figure E.2 – Oscilloscope sweep for damped oscillation method

E.7 Calculation

The high-quality factor is

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

and the lower-quality factor is

$$Q_i = \frac{\pi \cdot n}{\lg \frac{U_1}{U_2}}$$

where

Q_i is the uncorrected quality factor of the LC circuit;

ω is $2\pi f$, the measuring frequency;

t , n , U_1 , and U_2 are given in Figure E.2.

The correction for probe resistance is

$$Q_{LC} = \frac{R_0 \cdot Q_i}{R_0 - Q_i \cdot \omega \cdot L}$$

where

Q_{LC} is corrected quality factor of the LC circuit;

R_0 is the input resistance of the probe;

L is the parallel inductance for the inductor under test.

The correction for capacitor loss is

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

where

Q_L is the quality factor of the inductor under test;

Q_C is the quality factor of the capacitor.

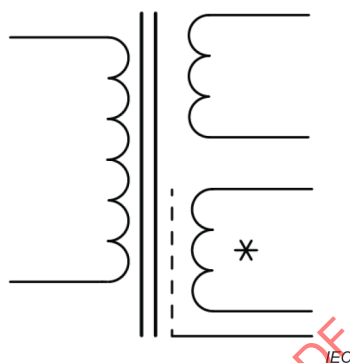
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61007:2020

Annex F (normative)

Electrostatic shielding

F.1 Symbols

The basic electrostatic symbol is shown in Figure F.1. Other possible variations of shield configurations are shown in Figure F.2 through Figure F.7.



* shield winding

Figure F.1 – Shielded single winding, core floating

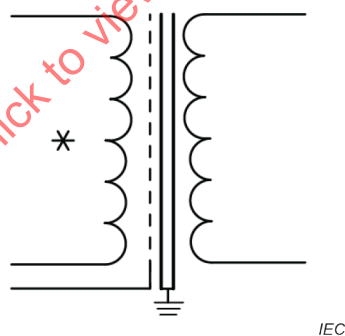


Figure F.2 – Basic electrostatic symbol

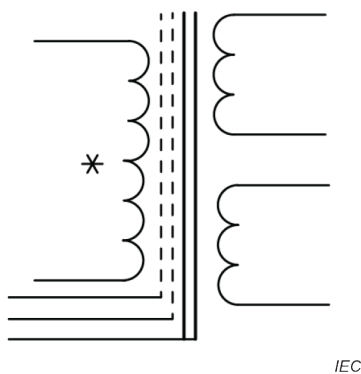


Figure F.3 – Multiple-shielded single winding, core terminal (lead) provided

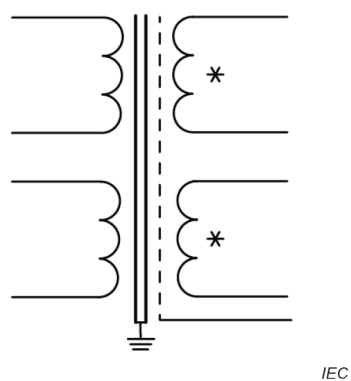


Figure F.4 – Shielded two-winding secondary, core grounded

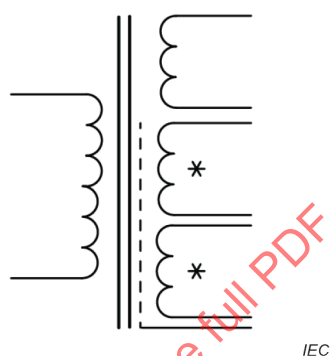


Figure F.5 – Shielded group of windings, core floating

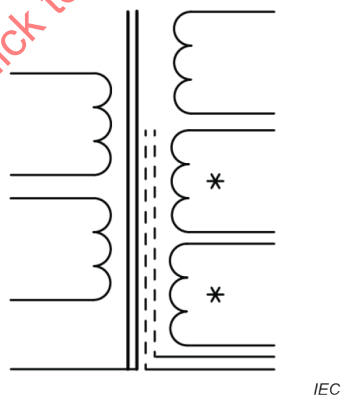


Figure F.6 – Multiple-shielded group of windings, core terminal (lead) provided

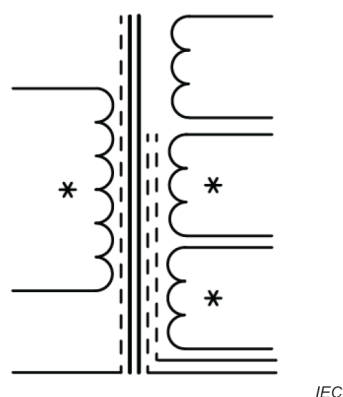


Figure F.7 – Combination of shielding conditions

F.2 Theoretical discussion

A typical two-winding shielded transformer can be represented as shown in Figure F.8, where the capacitance has been "lumped" at the centre of each winding, and the core has been omitted for clarity. C_1 and C_2 are the capacitances between the shield and the primary and the secondary, respectively, and C_d is the direct interwinding capacitance. The representation can be further simplified as shown in Figure F.9.

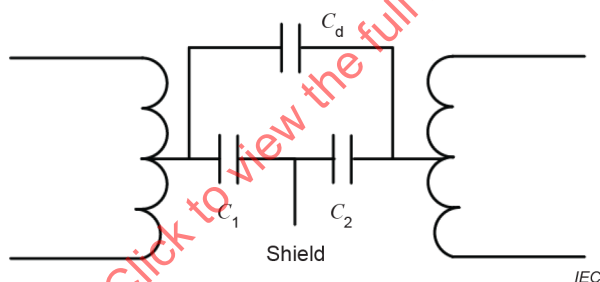


Figure F.8 – Typical two-winding shielded transformer

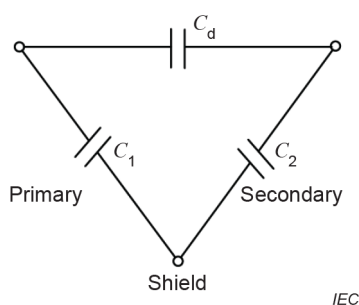


Figure F.9 – Simplified representation of Figure F.8

The purpose of electrostatic shielding of transformers is to minimize the effect of C_d , the direct interwinding capacitance, since it is via this capacitance that unwanted signals are coupled between windings.

The degree of shielding obtained depends on how the shields are incorporated in the transformer and how they are connected in the circuit.

Multiple shielding may be used to isolate specific capacitances to a particular point or points in the circuit in addition to limiting common-mode coupling. This will provide some "control" of these stray capacitances that can be effective in particular applications.

The effectiveness of shielding is generally described in terms of direct capacitance between windings, or as attenuation in decibels of unwanted signals. When measuring transformers for common-mode rejection, it is advisable to simulate the circuit in which the transformer is intended to be used.

F.3 Measurement methods

F.3.1 Indirect method

The recommended method is the indirect method shown in Figure F.10.

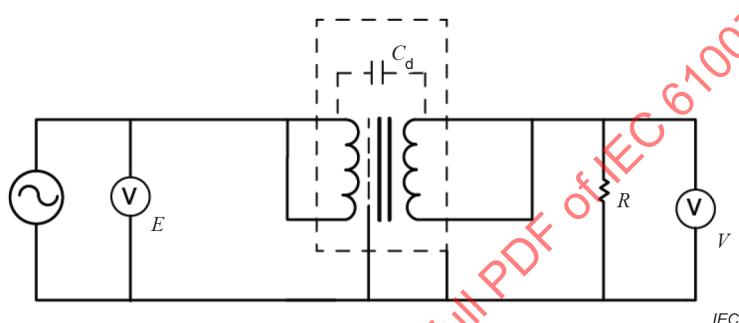


Figure F.10 – Indirect measuring method for electrostatic shielding

The direct capacitance C_d is

$$C_d = \frac{V}{\omega \cdot R \cdot E}$$

where

V is the coupled voltage;

ω is the frequency of the generator, in rad/s;

R is the load resistor (including voltmeter loading);

E is the generator voltage.

The resistance of R should be 100 to 1 000 times smaller than the value of $1/\omega C_d$.

If, for example, $\omega = 10^5$ ($f = 15,9$ kHz), $E = 100$ V, and $R = 10$ k Ω , then a V of 1 mV corresponds to a C_d of 0,01 pF.

In practice there is a shunt capacitance C_s across R , and a shunt resistance R_i across C_d . Given the values stated above, C_s may be as high as 100 pF. If $R_i = 10^{10}$ Ω minimum, the system will measure values of R_i between 0,01 pF and 100 pF.

F.3.2 Direct method

An alternative method, which may be used for measuring values of C_d above 1 pF, is a direct reading with a three-terminal capacitance meter. The shield is connected to the ground and the windings in testing to high and low values.

It has the following limitations:

- stray capacitances and sensitivity limit the applicability to direct (coupling) capacitance above 1 pF;
- grounded winding with a floating core can be awkward to implement mechanically.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61007:2020

Annex G (normative)

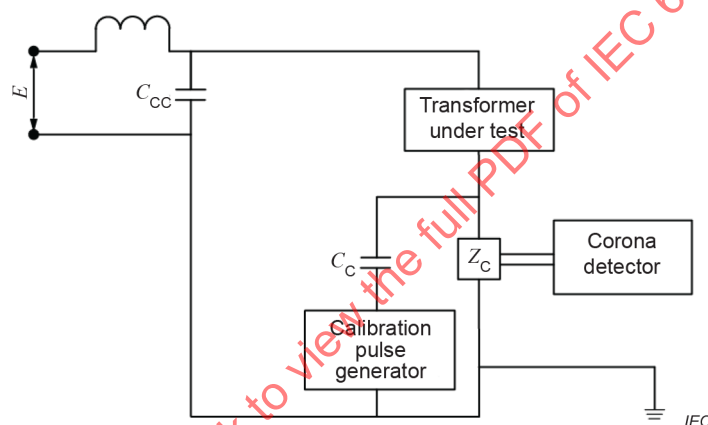
Corona test

G.1 Detection of corona

The detection of corona at the levels normally encountered in electronic transformers is done by sensing the sudden change of potential distribution in the circuit made up of the insulation system under stress, the coupling impedances, and the test voltage source, caused by the discharge current pulses.

Typical test circuits are shown in Figure G.1 and Figure G.2. For details see IEEE 436–1991.

Corona discharges of higher levels can be detected by acoustical means (hissing, cracking sounds, ultrasonic) or by visual means (blue haze).



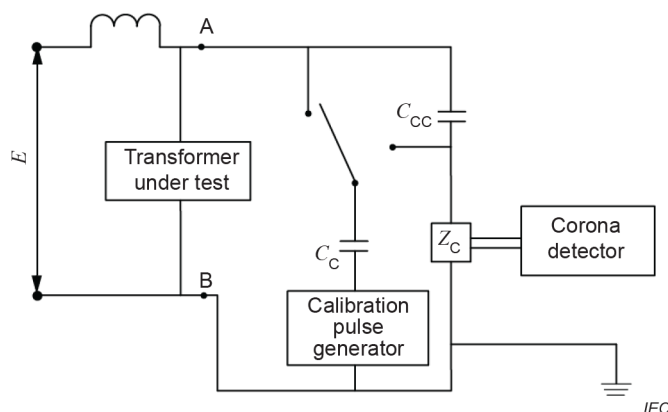
Key

- C_{CC} is the coupling capacitor
- C_C is the calibration coupling capacitor
- Z_C is the coupling impedance
- E is the high-impedance test voltage supply

Figure G.1 – Typical circuit for corona measurement (circuit 1)

G.2 Analysis of corona

For reliable operation, an insulation system should be free of corona discharges. The insulation system can be characterized by the corona inception voltage, i.e., the voltage where corona discharges of a specified magnitude first appeared, or by the corona extinction voltage, i.e., the lowest voltage where corona discharges were detected as the applied voltage was reduced from a level above the corona inception voltage. The corona extinction voltage is equal to or less than the corona inception voltage.



Key

- C_{cc} is the coupling capacitor
- C_c is the calibration coupling capacitor
- Z_c is the coupling impedance
- E is the high-impedance test voltage supply

Figure G.2 – Typical circuit for corona measurement (circuit 2)

Where the maximum voltage that can stress the insulation is well defined (including the transients), the insulation may be designed and verified to be above that level by a specified amount.

Where this is not possible, the insulation system should have a corona extinction voltage that is above the maximum continuous voltage that can stress the insulation.

The margin of safety should be at least 20 % in either case.

G.3 Test conditions and specifications

For corona measurements, the following quantities shall be defined:

- test voltage (peak);
- frequency and waveform;
- discharge pulse detection level;
- discharge energy level;
- special ambient conditions (temperature, altitude, humidity, etc.).

The normal requirement is no detectable corona at the specified test voltage and pulse or energy level.

The pulse energy levels recommended by IEEE 436-1991 are as follows:

- 1) Class I: 70 nJ maximum for insulation systems with a history of satisfactory life at the voltage stress used;
- 2) Class II: 700 nJ maximum for insulation with considerable tolerance for corona such as inorganic insulation;
- 3) Class III: pulse energy level to be specified.

Bibliography

IEC 60027-1, *Letters symbols to be used in electrical technology – Part 1: General*

IEC 60068 (all parts), *Environmental testing*

IEC 60068-2-58, *Environmental testing – Part 2-58: Tests – Test Td: Test methods for solderability, resistance to dissolution of metallization and to soldering heat of surface mounting devices (SMD)*

IEC 60076-10, *Power transformers – Part 10: Determination of sound levels*

IEC 60076-10-1, *Power transformers – Part 10-1: Determination of sound levels – Application guide*

IEC 60367-1:1982⁹, *Cores for inductors and transformers for telecommunications – Part 1: Measuring methods*

IEC TS 63064:2018, *Graphical symbols for diagrams – Guidance on design for standardization in IEC 60617*

General Electric SCR Manual, 5th ed., 1972

IEEE 389, *IEEE Recommended Practice for Testing Electronics Transformers and Inductors*

IEEE 393-1991, *IEEE Standard Test Procedures for Magnetic Cores (ANSI)*.

IEEE 436-1991, *IEEE Guide for Making Corona (Partial Discharge) Measurements of Electronics Transformers (ANSI)*.

IEEE C57.12.91-2011, *Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers (ANSI)*.

⁹ This publication has been withdrawn.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	96
1 Domaine d'application	98
2 Références normatives	98
3 Termes et définitions	99
4 Procédures d'essai	104
4.1 Conditions d'essai et de mesure	104
4.1.1 Généralités	104
4.1.2 Incertitude de mesure	107
4.1.3 Méthodes d'essai alternatives	107
4.2 Contrôle visuel	108
4.2.1 Généralités	108
4.2.2 Positionnement de l'écran de protection	108
4.2.3 Qualité des soudures	108
4.3 Vérification des dimensions	111
4.4 Procédures des essais électriques	111
4.4.1 Résistance des enroulements	111
4.4.2 Essais d'isolement	112
4.4.3 Pertes	116
4.4.4 Inductance	119
4.4.5 Déséquilibre	120
4.4.6 Capacité	125
4.4.7 Rapports de transformation	128
4.4.8 Fréquence de résonance	133
4.4.9 Caractéristiques de transfert de signal	135
4.4.10 Diaphonie	139
4.4.11 Réponse en fréquence	140
4.4.12 Caractéristiques d'impulsion	141
4.4.13 Produit tension-temps caractéristique	142
4.4.14 Distorsion harmonique totale	143
4.4.15 Régulation de tension	144
4.4.16 Échauffement	145
4.4.17 Température de surface	146
4.4.18 Polarité	147
4.4.19 Écrans	149
4.4.20 Bruit	150
4.4.21 Essais d'effet couronne	151
4.4.22 Champs magnétiques	151
4.4.23 Courant d'appel	154
4.5 Essais d'environnement	154
4.5.1 Généralités	154
4.5.2 Brasabilité	155
4.5.3 Robustesse des sorties et des dispositifs de fixation incorporés	155
4.5.4 Chocs	155
4.5.5 Secousses	155
4.5.6 Vibrations (sinusoïdales)	155
4.5.7 Accélération constante	155
4.5.8 Variations rapides de température (choc thermique dans l'air)	155

4.5.9	Étanchéité	155
4.5.10	Séquence climatique	155
4.5.11	Chaleur humide, essai continu	156
4.5.12	Chaleur sèche	156
4.5.13	Moisissures	156
4.5.14	Brouillard salin, essai cyclique (solution de chlorure de sodium)	156
4.5.15	Essai à l'anhydride sulfureux pour contacts et connexions	157
4.5.16	Risques du feu	157
4.5.17	Immersion dans les solvants de nettoyage	157
4.6	Procédures d'essai d'endurance	157
4.6.1	Endurance à court terme (fonctionnement en charge)	157
4.6.2	Endurance à long terme (essai de durée de vie)	158
Annexe A (normative)	Essai de résistance en courant continu	159
A.1	Généralités	159
A.2	Valeurs de résistance inférieures à 1 Ω – Méthode du double pont de Kelvin	159
A.3	Valeurs de résistance de 1 Ω à plusieurs kilo-ohms	160
A.3.1	Généralités	160
A.3.2	Méthode par ampèremètre et voltmètre	161
A.3.3	Méthode de substitution	162
A.3.4	Pont de Wheatstone	162
A.3.5	Ohmmètre	163
A.4	Ohmmètre numérique – Valeurs de résistance de moins de 1 Ω à plusieurs kilo-ohms	164
Annexe B (normative)	Essai diélectrique de tenue en tension	165
Annexe C (normative)	Essai de tension induite	167
C.1	Essai de tension induite	167
C.2	Conditions générales d'essai	167
C.3	Méthodes générales d'essai	167
C.4	Tension et fréquence d'excitation induites	169
C.5	Essais répétés de tension induite	169
C.6	Courant d'excitation	169
Annexe D (normative)	Pertes à vide	170
D.1	Généralités	170
D.2	Forme d'onde d'excitation	170
D.2.1	Généralités	170
D.2.2	Excitation à tension sinusoïdale (flux sinusoïdal)	171
D.2.3	Excitation à courant sinusoïdal	171
D.2.4	Excitation à tension rectangulaire	171
D.3	Méthode d'essai et instrumentation	172
D.3.1	Généralités	172
D.3.2	Wattmètre	173
D.3.3	Ampèremètres	173
D.3.4	Voltmètres	174
D.4	Spécifications et résultats d'essai	174
Annexe E (normative)	Facteur de surtension, Q	175
E.1	Généralités	175
E.2	Précision	175
E.3	Générateurs	175

E.3.1	Générateur de signaux	175
E.3.2	Générateur d'impulsions	175
E.3.3	Antenne	175
E.4	Condensateur	176
E.5	Circuit de mesure.....	176
E.5.1	Oscilloscope	176
E.5.2	Sonde.....	176
E.6	Procédure de mesure.....	176
E.7	Calcul	177
Annexe F (normative)	Blindage électrostatique	179
F.1	Symboles	179
F.2	Considérations théoriques	181
F.3	Méthodes de mesure	182
F.3.1	Méthode indirecte	182
F.3.2	Méthode directe.....	183
Annexe G (normative)	Essai d'effet couronne	184
G.1	Détection d'effet couronne	184
G.2	Analyse d'effet couronne.....	184
G.3	Conditions et spécifications d'essai.....	185
Bibliographie.....		186
Figure 1	Paramètres de la forme d'onde de l'impulsion	101
Figure 2	Exemples de soudures correctes.....	109
Figure 3	Exemples de soudures incorrectes.....	110
Figure 4	Schéma d'essai de courant à vide.....	116
Figure 5	Schéma d'essai de pertes à vide.....	117
Figure 6	Schéma simplifié pour l'essai de puissance en court-circuit.....	118
Figure 7	Circuit pour la mesure du déséquilibre de capacité	120
Figure 8	Circuit pour la détermination du rapport de réjection de mode commun.....	121
Figure 9	Circuit pour la mesure du déséquilibre d'impédance.....	121
Figure 10	Circuit pour la détermination de l'affaiblissement diaphonique.....	123
Figure 11	Représentation schématique du déséquilibre de phase et du déséquilibre d'amplitude	125
Figure 12	Représentation graphique type pour la détermination de la self-capacité.....	126
Figure 13	Circuit pour la détermination de la capacité entre enroulements	127
Figure 14	Circuit pour la mesure du rapport de transformation de la tension	130
Figure 15	Circuit pour la mesure du rapport de transformation du courant et du décalage de phase.....	132
Figure 16	Circuit de mesure du rapport de transformation du courant et du décalage de phase.....	133
Figure 17	Circuit pour la détermination de la fréquence de self-résonance parallèle	134
Figure 18	Circuit pour la détermination de la fréquence de résonance d'ensembles résonants.....	135
Figure 19	Circuit pour la détermination des pertes d'insertion	136
Figure 20	Utilisation de deux transformateurs identiques lorsque le rapport de transformation est différent de 1 et/ou qu'un courant continu est exigé	137
Figure 21	Représentation de l'affaiblissement.....	138

Figure 22 – Circuit d'essai pour l'affaiblissement de base	139
Figure 23 – Schéma du circuit pour la mesure des interférences croisées entre deux bobines d'un transformateur.....	140
Figure 24 – Circuit de mesure de la forme d'onde de l'impulsion	142
Figure 25 – Non-linéarité du courant de magnétisation	143
Figure 26 – Schéma d'essai de régulation de tension.....	144
Figure 27 – Vérification des phases (polarités) par mesure des tensions	147
Figure 28 – Méthode de connexion en série.....	148
Figure 29 – Montage de Helmholtz.....	152
Figure A.1 – Mesure d'une faible résistance.....	159
Figure A.2 – Méthode du double pont de Kelvin pour la mesure d'une faible résistance	160
Figure A.3 – Méthode de mesure de la résistance par ampèremètre et voltmètre.....	161
Figure A.4 – Mesure de la résistance par substitution	162
Figure A.5 – Connexions du pont de Wheatstone.....	163
Figure A.6 – Principe de l'ohmmètre en série.....	164
Figure A.7 – Méthode de mesure de la résistance par ohmmètre numérique.....	164
Figure B.1 – Essai type à haut potentiel, qui représente la section 1 à l'essai	165
Figure B.2 – Essai type à haut potentiel d'une inductance.....	165
Figure C.1 – Schéma fonctionnel de l'essai de surtension induite	167
Figure D.1 – Variation triangulaire de la densité de flux dans le noyau du transformateur	172
Figure D.2 – Circuit d'essai pour les pertes à vide du transformateur.....	172
Figure E.1 – Méthode d'oscillation amortie.....	175
Figure E.2 – Balayage d'oscilloscope pour la méthode d'oscillation amortie	177
Figure F.1 – Enroulement simple blindé, noyau flottant.....	179
Figure F.2 – Symbole électrostatique de base.....	179
Figure F.3 – Plusieurs enroulements simples blindés, borne de noyau (connexion) fournie	179
Figure F.4 – Secondaire blindé à deux enroulements, noyau mis à la terre	180
Figure F.5 – Groupe d'enroulements blindé, noyau flottant	180
Figure F.6 – Plusieurs groupes d'enroulements blindés, borne de noyau (connexion) fournie	180
Figure F.7 – Combinaison de conditions de blindage	181
Figure F.8 – Transformateur blindé à deux enroulements type	181
Figure F.9 – Représentation simplifiée de la Figure F.8	181
Figure F.10 – Méthode de mesure indirecte pour le blindage électrostatique	182
Figure G.1 – Circuit type pour la mesure de l'effet couronne, circuit 1).....	184
Figure G.2 – Circuit type pour la mesure de l'effet couronne, circuit 2).....	185
Tableau 1 – Essais recommandés et spécifications pour des groupes spécifiques de transformateurs et d'inductances	104
Tableau 2 – Tension de l'essai diélectrique de tenue en tension	113
Tableau 3 – Corrections du niveau de son pour les essais de bruit audible.....	150
Tableau 4 – Dimensions du cube et données correspondantes de la bobine d'exploration	154

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 Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 61007 a été établie par le comité d'études 51 de l'IEC: Composants magnétiques, ferrites et matériaux en poudre magnétique.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 1994. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) domaine d'application: extension du domaine d'application de l'IEC 61007;
- b) Article 2: ajout de nouvelles références et mise à jour des références;
- c) Article 3: ajout de nouvelles définitions en 3.3, et redéfinition du produit tension-temps en 3.7;

d) mise à jour des procédures d'essai:

1) ajout de méthodes d'essai:

résistance en courant alternatif (voir 4.4.1.2); essai de puissance en court-circuit (voir 4.4.3.4); rendement (voir 4.4.3.5); déséquilibre (voir 4.4.5.7); déséquilibre d'amplitude (fréquences radioélectriques) (voir 4.4.5.8); rapport de transformation par impédance (voir 4.4.7.1); coefficient de couplage (voir 4.4.7.2); diaphonie (voir 4.4.10);

2) modification de méthodes d'essai:

résistance d'isolement (plage d'erreur pour la tension d'essai, voir 4.4.2.3);

3) suppression de méthodes d'essai:

résistance effective;

e) procédures d'essais d'environnement: ajout de nouvelles références;

f) ajout des Annexes A à G.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
51/1319/CDV	51/1339/RVC

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

1 Domaine d'application

Le présent document décrit plusieurs essais utilisés pour la détermination des paramètres importants et des caractéristiques de fonctionnement des transformateurs et inductances utilisés dans les équipements électroniques et de télécommunications. Ces méthodes d'essai sont principalement conçues pour les transformateurs et inductances utilisés dans tous les types d'applications électroniques qui peuvent être employés dans toute spécification de ces composants. Bien que ces essais puissent être utiles pour d'autres types de transformateurs utilisés dans les applications de distribution de puissance dans les services publics, dans l'industrie et d'autres secteurs, les essais traités dans le présent document peuvent s'ajouter aux essais décrits dans les normes relatives aux transformateurs ou les compléter, mais ne sont pas destinés à les remplacer. Certains des essais décrits visent à qualifier un produit pour une application spécifique, tandis que d'autres sont des pratiques d'essai utilisées lors de la fabrication et pour les essais d'acceptation client. Les méthodes d'essai décrites ici comprennent les paramètres les plus couramment utilisés dans l'industrie des transformateurs et inductances électroniques: rigidité diélectrique, résistance, perte de puissance, inductance, impédance, équilibre, rapport de transformation, et de nombreux autres paramètres utilisés moins fréquemment.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV)* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60068-1:2013, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et lignes directrices*

IEC 60068-2-1, *Essais d'environnement – Partie 2-1: Essais – Essais A: Froid*

IEC 60068-2-2, *Essais d'environnement – Partie 2-2: Essais – Essais B: Chaleur sèche*

IEC 60068-2-6, *Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

IEC 60068-2-7, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2-7: Essais – Essai GA et guide: Accélération constante*

IEC 60068-2-10, *Essais d'environnement – Partie 2-10: Essais – Essai J et guide: Moisissures*

IEC 60068-2-13, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2-13: Essais – Essai M: Basse pression atmosphérique*

IEC 60068-2-14, *Essais d'environnement – Partie 2-14: Essais – Essai N: Variation de température*

IEC 60068-2-17, *Essais d'environnement – Partie 2-17: Essais – Essai Q: Etanchéité*

IEC 60068-2-20, *Essais d'environnement – Partie 2-20: Essais – Essai T: Méthodes d'essai de la brasabilité et de la résistance à la chaleur de brasage des dispositifs à broches*

IEC 60068-2-21, *Essais d'environnement – Partie 2-21: Essais – Essai U: Robustesse des sorties et des dispositifs de montage incorporés*

IEC 60068-2-27, *Essais d'environnement – Partie 2-27: Essais – Essai Ea et guide: Chocs*

IEC 60068-2-30, *Essais d'environnement – Partie 2-30: Essais – Essai Db: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 + 12 h)*

IEC 60068-2-42, *Essais d'environnement – Partie 2-42: Essais – Essai Kc: Essai à l'anhydride sulfureux pour contacts et connexions*

IEC 60068-2-45, *Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique – Partie 2-45: Essais – Essai XA et guide: Immersion dans les solvants de nettoyage*

IEC 60068-2-52, *Essais d'environnement – Partie 2-52: Essais – Essai Kb: Brouillard salin, essai cyclique (solution de chlorure de sodium)*

IEC 60068-2-78, *Essais d'environnement – Partie 2-78: Essais – Essai Cab: Chaleur humide, essai continu*

IEC 60270, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

IEC 60695-11-2, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-2: Flamme d'essai – Flamme à prémélange de 1 kW nominal – Appareillage, configuration pour l'essai de vérification et préconisations*

IEC 60695-11-5, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-5: Flamme d'essai – Méthode d'essai au brûleur-aiguille – Appareillage, dispositif d'essai de vérification et lignes directrices*

IEC 61672-1, *Electroacoustique – Sonomètres – Partie 1: Spécifications*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 60050 (toutes les parties) ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

composant

transformateur ou inductance

3.2

tension de service crête

tension maximale instantanée définie pour l'isolement des enroulements dans les conditions de fonctionnement du circuit

3.3

paramètres de la forme d'onde de l'impulsion (voir Figure 1)

3.3.1

amplitude de crête de l'impulsion

U_m

valeur maximale de la courbe extrapolée au sommet de l'impulsion, excluant tout pic ou dépassement initial qui a une durée inférieure à 10 % de la durée de l'impulsion

3.3.2

durée de l'impulsion

t_d

intervalle entre le premier et le dernier instant auquel l'amplitude de l'impulsion atteint 50 % de l'amplitude de crête de l'impulsion

3.3.3

temps de montée de l'impulsion

t_r

intervalle entre le premier instant auquel l'amplitude de l'impulsion atteint 10 % de l'amplitude de crête et le premier instant auquel l'amplitude de l'impulsion atteint 90 % de l'amplitude de crête, en excluant toute portion non souhaitée ou non pertinente de la forme d'onde

3.3.4

temps de descente de l'impulsion

t_f

intervalle entre le dernier instant auquel 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 non souhaitée ou non pertinente de la forme d'onde

Note 1 à l'article: Lorsque la valeur de la chute de palier approche 10 % de l'amplitude de crête de l'impulsion, le point le plus élevé qui définit le temps de descente peut être remplacé par le dernier instant auquel l'amplitude de l'impulsion atteint 80 % de l'amplitude de crête.

3.3.5

chute de palier

différence entre l'amplitude de crête de l'impulsion et l'amplitude de la courbe extrapolée du sommet de l'impulsion, excluant tout pic ou dépassement initial, avec l'intersection de la ligne droite qui définit le moment où l'impulsion décroît, exprimée en pourcentage de l'amplitude de crête de l'impulsion

3.3.6

crête de l'impulsion

amplitude maximale de l'impulsion

3.3.7

dépassement

valeur dont la crête de l'impulsion dépasse la valeur de l'amplitude de crête de l'impulsion exprimée en pourcentage de l'amplitude de crête de l'impulsion

3.3.8

alternance inverse

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

3.3.9

alternance directe

amplitude maximale de la courbe qui succède à l'alternance inverse, exprimée en pourcentage de l'amplitude de crête

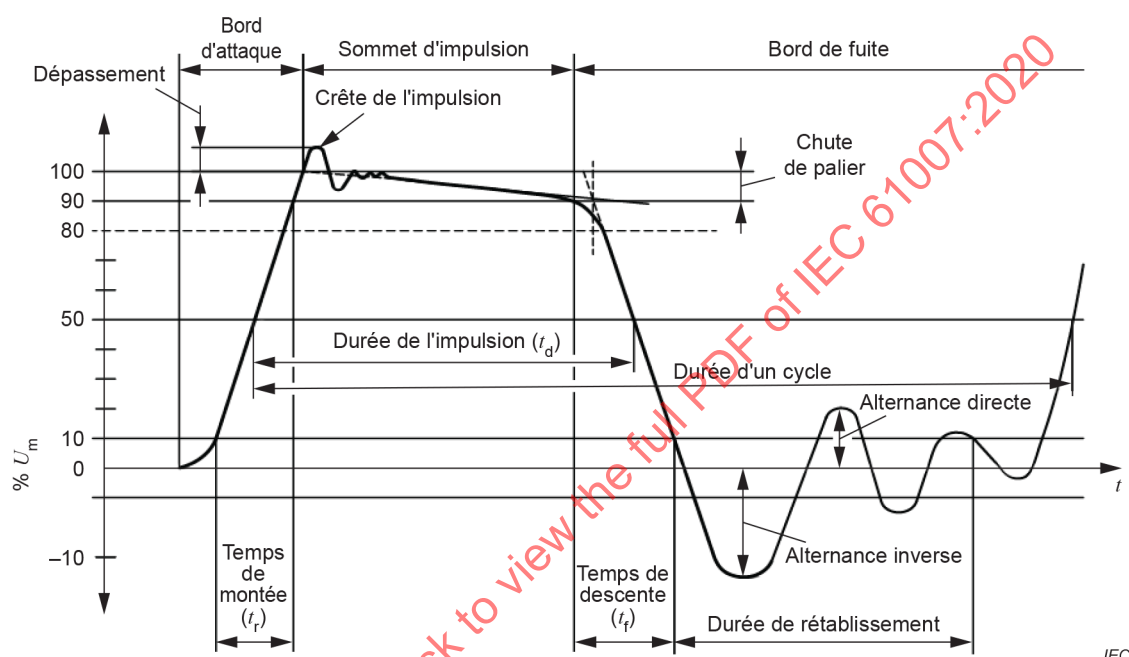
3.3.10**durée de rétablissement**

intervalle compris entre la fin du temps de descente de l'impulsion et le dernier instant auquel l'amplitude de l'impulsion atteint 10 % de l'amplitude de crête

Note 1 à l'article: Exceptionnellement, cette valeur peut être inférieure à 10 %, auquel cas l'intervalle est désigné "X % de la durée de rétablissement"

3.3.11**fréquence de répétition des impulsions**

valeur moyenne du nombre d'impulsions par unité de temps, indépendant de la période pendant laquelle il est mesuré



Bord d'attaque: intervalle entre le premier instant auquel l'amplitude de l'impulsion commence et le premier instant auquel l'amplitude de l'impulsion atteint l'amplitude de crête.

Sommet d'impulsion: intervalle entre les premiers instants auxquels l'amplitude de l'impulsion est égale à l'amplitude de crête et les derniers instants auxquels l'amplitude de l'impulsion est égale à 90 % de l'amplitude de crête.

Bord de fuite: intervalle entre les derniers instants auxquels l'amplitude de l'impulsion est égale à 90 % de l'amplitude de crête et les premiers instants auxquels l'amplitude de l'impulsion du deuxième cycle commence.

Pour clarifier la représentation de la chute de palier, les points de 80 % et 10 % ont été utilisés pour construire la ligne qui permet de déterminer la frontière entre le sommet de l'impulsion et le bord de fuite.

Figure 1 – Paramètres de la forme d'onde de l'impulsion

3.4**facteur de surtension****facteur Q**

rapport entre l'énergie stockée et l'énergie dissipée, pendant un cycle, à une fréquence particulière dans un enroulement spécifié

Note 1 à l'article: Le facteur Q est exprimé à partir des réactances et des résistances de perte, en parallèle ou en série.

3.5

distorsion harmonique

racine carrée de la somme des carrés de toutes les tensions harmoniques jusqu'au septième harmonique compris (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'échauffement moyen de chaque enroulement du composant à pleine charge et à la température ambiante maximale, 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 l'intervalle entre le premier et le dernier instant auquel l'amplitude de l'impulsion atteint 50 % de l'amplitude de crête de l'impulsion

Note 1 à l'article: Début de l'impulsion pendant laquelle la non-linéarité du courant de magnétisation ne dépasse pas une valeur spécifiée.

3.8

bruit de fond

bruit acoustique

niveau de bruit mesuré au point de mesure, le composant à l'essai n'étant pas excité électriquement

3.9

distance de sécurité du compas

distance entre l'axe du magnétomètre d'essai d'une boussole et le point le plus proche sur la surface du composant à l'essai, à laquelle la déviation magnétique est limitée à une valeur déterminée

3.10

facteur de marche

rapport entre la durée de l'impulsion t_d et la durée d'un cycle

3.11

paramètres d'un transformateur de courant

3.11.1

charge disponible

propriété du circuit connecté au secondaire d'un transformateur de courant qui détermine la puissance réelle et réactive disponible aux bornes du secondaire

Note 1 à l'article: La charge disponible est exprimée en impédance totale avec des composants résistifs et réactifs effectifs ou en volt-ampères totaux et facteur de puissance aux valeurs spécifiées du courant et de la fréquence.

3.11.2

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

3.11.3

angle de phase

écart angulaire de la fréquence fondamentale entre les vecteurs qui représentent respectivement le courant dans le primaire et le secondaire d'un transformateur

Note 1 à l'article: L'angle de phase est positif si le courant du secondaire est en avance sur le courant primaire.

3.11.4**erreur du rapport**

différence entre le rapport de transformation du courant mesuré k et sa valeur nominale k_n , divisée par la valeur mesurée k , exprimée en pourcentage

$$\frac{k_n - k}{k} \cdot 100 \%$$

3.12**écran électrostatique**

écran conducteur inséré entre les enroulements qui, lorsqu'il est relié à la terre ou aux points auxquels les potentiels de tension sont constants, affaiblit considérablement le transfert, par la capacité entre enroulements, de signaux non recherchés d'un enroulement à un autre

3.13**écran de protection**

écran 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**

<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, les tensions induites qui apparaissent entre chacune des bornes et le point commun augmentent 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 un essai de rigidité diélectrique d'une valeur appropriée au potentiel de tension maximal à appliquer à 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 faible à l'extrémité basse tension

Note 1 à l'article: Il convient qu'un tel enroulement résiste à un essai de rigidité diélectrique d'une valeur appropriée à l'isolement de l'extrémité basse tension.

3.17**caractéristique de pondération de fréquence**

A

courbe de fréquence la plus couramment utilisée pour la mesure du niveau de pression acoustique

[illegible]

[illegible]

Procédures d'essai	Filament	Isolation	Limitation de courant	Redresseur	Combinaison	Ferrorésonance	Convertisseur	Polyphase	Mode de commutation	Redresseur de grande taille	Réduction de tension	Augmentation de tension	Inversion à faible rapport	Adaptation d'impédance	Isolation en courant continu	Réjection de mode commun	Transformateurs de tension	Transformateurs de courant	Inductances de filtrage	Inductances de charge	Transformateurs hybrides	Transformateurs RF	Transformateurs de réseau
Coefficient de couplage (4.4.7.2)									x		x	x		x	x	x							
Rapport de transformation de la tension (4.4.7.3)																	x						
rapport de transformation du courant (4.4.7.4)																		x					
Fréquence de résonance (4.4.8)																							
Self-résonance intrinsèque (4.4.8.2)						x	x							x		x					x		
Ensembles résonants (4.4.8.3)					x	x	x							x		x					x		
Caractéristiques de transfert de signal (4.4.9)																							
Pertes d'insertion (4.4.9.1)											x	x	x	x								x	x
Affaiblissement (4.4.9.2)											x	x	x	x									x
Diaphonie (4.4.10)																							x
Réponse en fréquence (4.4.11)														x	x	x					x		
Caractéristiques d'impulsion (4.4.12)									x		x	x	x										
Produit tension-temps caractéristique (4.4.13)											x	x	x										
Distorsion harmonique totale (4.4.14)														x	x	x							
Régulation de tension (4.4.15)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
Echauffement (4.4.16)																							
Méthode qui utilise la variation de la résistance en courant continu d'un enroulement (4.4.16.1)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x			
Méthode qui utilise des enroulements bifilaires additionnels en série et en opposition (4.4.16.2)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x			
Température de surface (4.4.17)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									x	x			
Polarité (4.4.18)		x		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x
Ecrans (4.4.19)																							
Essai de capacité pour écrans (4.4.19.1)		x		x	x				x	x	x			x	x	x	x				x		

Procédures d'essai	Filament	Isolation	Limitation de courant	Redresseur	Combinaison	Ferrorésonance	Convertisseur	Polyphase	Mode de commutation	Redresseur de grande taille	Réduction de tension	Augmentation de tension	Inversion à faible rapport	Adaptation d'impédance	Isolation en courant continu	Réjection de mode commun	Transformateurs de tension	Transformateurs de courant	Inductances de filtrage	Inductances de charge	Transformateurs hybrides	Transformateurs RF	Transformateurs de réseau
Ecrans de protection (4.4.19.2)															x		x						
Bruit acoustique (4.4.20)																							
Bruit acoustique (4.4.20.1)	x	x	x	x	x	x		x	x	x				x									
Bruit dû aux interférences électromagnétiques (4.4.20.2)	x	x	x	x	x	x		x	x	x				x									
Essais d'effet couronne (4.4.21)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							x	x	x	x			
Champs magnétiques (4.4.22)																							
Blindage magnétique (4.4.22.1)									x														
Influence magnétique (distance de sécurité du compas) (4.4.22.2)														x		x							
Rayonnement magnétique (4.4.22.3)		x		x	x			x	x	x			x	x	x	x	x						
Courant d'appel (4.4.23)			x															x					

4.1.2 Incertitude de mesure

Les limites fixées dans les spécifications particulières doivent être des valeurs absolues. Les valeurs de tolérance applicables au système de mesure utilisé doivent être prises en compte lorsque les mesures ont pour objet de vérifier les limites spécifiées. Lorsque des tolérances relatives aux conditions fixées ou aux erreurs d'instrument ont été spécifiées, elles doivent être considérées comme des exigences minimales supplémentaires.

4.1.3 Méthodes d'essai alternatives

Les méthodes d'essai et de mesure données dans les spécifications applicables ne doivent pas être considérées comme les seules méthodes à utiliser. Il existe sur le marché des équipements d'essai spéciaux et des ensembles d'essai automatiques qui peuvent également être utilisés. Cependant, il doit être prouvé au client ou à l'autorité chargée du contrôle¹ que les méthodes d'essai alternatives utilisées donnent des résultats identiques² à ceux obtenus avec les méthodes normalisées. En cas de litige, seules les méthodes spécifiées doivent être utilisées comme base de référence.

¹ Par exemple, l'organisme national de surveillance dans le cadre du contrôle de qualité de l'IEC ou d'une méthode équivalente.

² Par "identiques", il faut comprendre que les valeurs d'une caractéristique établies par une autre méthode et réputées conformes aux limites fixées pour cette autre méthode seraient comprises dans les limites spécifiées si elles étaient établies par la méthode spécifiée.

4.2 Contrôle visuel

4.2.1 Généralités

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

NOTE Si un éclairage spécial et/ou une aide visuelle complémentaire sont nécessaires pour l'acceptation de composants particuliers, par exemple de très petits composants (1812/4532 ou plus petits), cela peut être spécifié comme essai complémentaire dans la spécification particulière.

4.2.2 Positionnement de l'écran de protection

NOTE 1 Parfois, le terme "écran d'isolation" est utilisé à la place d'"écran de protection".

Objet: Déterminer le positionnement d'un écran de protection par rapport aux enroulements adjacents.

Procédure: L'écran de protection mis en place doit être contrôlé avant d'être masqué par des enroulements 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 indiquée dans la spécification particulière;
- b) être suffisamment isolant pour empêcher un court-circuit entre les enroulements.

NOTE 2 Les écrans mis en place autour des enroulements des transformateurs toroïdaux peuvent être constitués par un nombre de tours de bande conductrice, à condition que chaque tour recouvre le tour adjacent d'au moins 5 % de la largeur de la bande.

Informations à préciser:

- a) recouvrement minimal;
- b) ligne de fuite minimale.

4.2.3 Qualité des soudures

NOTE Une soudure correcte assure un excellent contact électrique entre les parties soudées et une tenue mécanique satisfaisante. Des exemples de soudures correctes sont donnés à la Figure 2. La Figure 3 représente des soudures incorrectes.

Objet: Déterminer la qualité de toutes les soudures.

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

Exigences: Les joints de soudures 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 3(a));
- g) ne pas être "secs", c'est-à-dire ne pas présenter de ligne distincte là où les filets de soudure joignent le fil ou ne pas former d'angle vif entre la soudure et le fil (voir Figure 3(b));

- h) être enroulés sur la borne de telle manière que cela ne laisse pas de contraintes résiduelles (voir Figure 3(c));
- i) ne pas présenter de "méchage", c'est-à-dire que le fil de soudure ne doit pas être surchauffé, conduisant au mouvement de la soudure sur les fils multibrins (voir Figure 3(d));
- j) ne pas présenter de rainure ou de rayure sur l'extrémité de sortie avant soudage (voir Figure 3(e));
- k) ne pas présenter de fissure sur l'extrémité de la soudure (voir Figure 3(f));
- l) ne présenter aucune absence de mouillage (voir Figure 3(g));
- m) ne pas présenter de saillie sur l'extrémité de la soudure (voir Figure 3(h)).

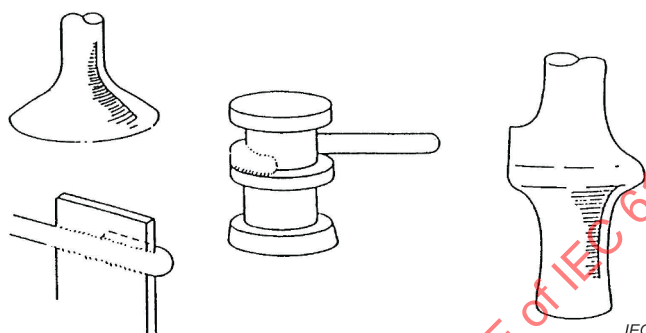
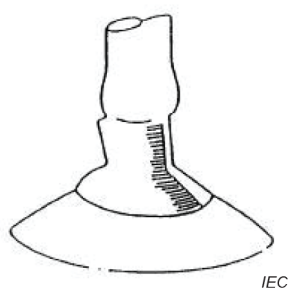
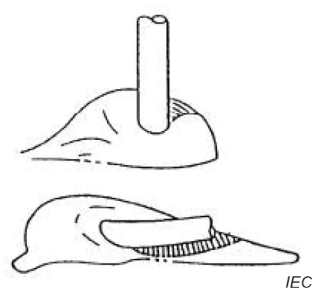


Figure 2 – Exemples de soudures correctes



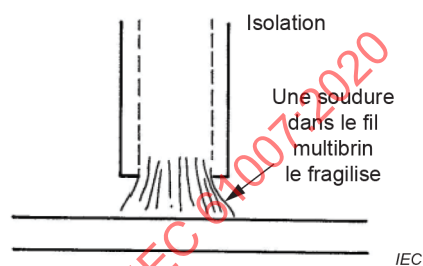
a) Soudure déplacée



b) Soudures sèches



c) Soudure mécaniquement contrainte



d) Méchage



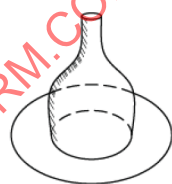
Rayure

e) Rayures

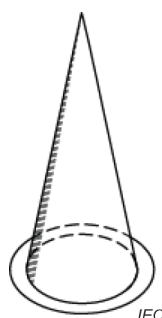


Fissure

f) Fissure



g) Absence de mouillage



h) Pointe à l'extrémité de soudure

Figure 3 – Exemples de soudures incorrectes

4.3 Vérification des dimensions

La conformité des dimensions à la spécification applicable doit être 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 doit être mesurée par une méthode adaptée (voir Annexe A).

Lorsque les spécifications particulières l'exigent, la température ambiante θ (en °C) doit être mesurée et le résultat de la résistance mesurée R_m (en Ω) doit être corrigé à la valeur correspondante pour 20 °C, R_{20} (en Ω) au moyen des formules suivantes:

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

$$k = \frac{1}{\alpha_{20}} - 20$$

où

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

α_{20} est un coefficient thermique de résistivité du conducteur d'enroulement à 20 °C.

Pour des raisons de sécurité, il convient de veiller à éviter les chocs compte tenu du risque présenté par des enroulements qui, en court-circuit, génèrent des tensions élevées au moment de l'interruption du courant.

Informations à préciser:

- extrémités entre lesquelles la mesure doit être réalisée;
- s'il convient de corriger le résultat de la mesure à 20 °C; le cas échéant, la valeur de k est corrigée par le coefficient thermique de résistivité.

Il convient de déterminer la méthode choisie en fonction de la facilité d'exécution de l'essai et en fonction de la précision exigée. Il convient que la précision de l'équipement soit au moins dix fois meilleure que la précision exigée pour l'essai.

Il convient que le courant de mesure ne soit pas élevé au point de provoquer un autoéchauffement ou d'avoir un effet magnétique significatif sur le composant.

4.4.1.2 Résistance en courant alternatif

Objet: Déterminer la valeur de la résistance en courant alternatif à la fréquence de fonctionnement assignée.

Procédure: Une source appropriée de puissance en courant alternatif doit être utilisée, et la fréquence d'essai ainsi que la tension alternative doivent être spécifiées.

Informations à préciser:

- enroulement à soumettre à l'essai.

Il convient de prendre des précautions lors des essais pour éviter le risque de choc, en particulier dans le cas des composants à haute inductance, une haute tension pouvant être induite.

4.4.1.3 Continuité

Objet: Vérifier la continuité d'un enroulement spécifié.

Procédure: La continuité doit être établie en utilisant une source appropriée de courant ou de tension en courant continu ou en courant alternatif et un détecteur adapté.

Informations à préciser:

- enroulement à soumettre à l'essai.

Il convient que le courant soit suffisamment faible pour ne pas avoir d'effet magnétique significatif sur le composant.

Il convient de prendre des précautions lors des essais des enroulements à haute inductance, une haute tension pouvant être induite.

NOTE 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 en cours de vérification n'est pas influencé par des conducteurs shuntés.

4.4.2 Essais d'isolement

4.4.2.1 Essai diélectrique de tenue en 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.

NOTE 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 soumis à l'essai que par l'application d'un essai de tension induite approprié des conditions spéciales d'essai données en 4.4.2.2, point b).

NOTE 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 des conditions spéciales d'essai données en 4.4.2.2, point b).

Procédure: Une tension d'essai dont la valeur figure dans le Tableau 2, sauf spécification contraire, doit être appliquée entre deux éléments isolés spécifiés du composant. Tous les enroulements doivent être court-circuités. Les enroulements et les écrans d'un côté de l'isolation doivent être reliés au châssis, au noyau et à la terre tandis que les enroulements et les écrans de l'autre côté doivent être connectés ensemble. Il convient que la puissance de sortie de l'instrument d'essai soit suffisante (voir Annexe B).

Tableau 2 – Tension de l'essai diélectrique de tenue en tension

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

La tension d'essai doit être augmentée à une vitesse convenable qui n'excède pas 2 kV/s, à partir de zéro jusqu'à la valeur spécifiée, maintenue à cette valeur pendant la durée spécifiée (sauf si un claquage se produit), puis ramenée à zéro à la même vitesse.

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

Si des conditions d'environnement sont exigées dans la spécification particulière pour cet essai, le composant doit être maintenu dans les conditions spécifiées pendant au moins 6 h, sauf spécification contraire (se reporter à l'IEC 60068 pour obtenir des informations concernant les essais d'environnement).

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

Informations à préciser:

- extrémités entre lesquelles l'essai doit être réalisé;
- tension d'essai (pour un enroulement à gradient d'isolement, les valeurs doivent être données pour les deux extrémités de l'enroulement);
- fréquence de la tension d'essai alternative (si elle est différente de celle indiquée dans le Tableau 2);
- durée de l'essai;
- courant de fuite maximal, s'il est spécifié.

NOTE 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 de nombreux cas d'essais de rigidité diélectrique, 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.

Les tensions utilisées pour l'essai peuvent être dangereuses. Il convient de prendre des précautions particulières lors de la réalisation de 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 s'appliquent:

- a) les enroulements uniformément isolés sont normalement soumis à l'essai suivant les Procédures 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 soumis à l'essai suivant les Procédures 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 d'essai de crête appropriée donnée en 4.4.2.1.

Si la tension spécifiée, supérieure à celle de la terre, est alternative, elle doit être de même fréquence que celle de la tension induite (voir Annexe C).

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.

Procédure 1: Applicable aux transformateurs et inductances prévus pour une excitation par ondes sinusoïdales.

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

Procédure 2: Applicable aux transformateurs et inductances prévus pour une excitation par impulsions.

Une tension d'essai spécifiée dont l'amplitude des impulsions est égale à au moins deux fois l'amplitude assignée, à une fréquence spécifiée de répétition des impulsions égale à au moins 25 % de la fréquence maximale assignée de répétition des impulsions, doit être appliquée aux bornes de l'enroulement, la durée d'impulsion spécifiée étant égale à au moins 25 % et, normalement, à au plus 50 %³ de la durée d'impulsion maximale assignée. La durée de son application et la manière dont elle est appliquée doivent être celles indiquées dans la spécification particulière.

Procédure 3: Applicable aux transformateurs et inductances prévus pour une excitation par ondes périodiques non sinusoïdales telles que celles qui sont utilisés dans les applications de puissance qui fonctionnent avec des semiconducteurs en mode commuté.

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

La fréquence d'essai doit être telle que sa période soit normalement⁴ inférieure ou égale à la plus petite demi-période effective de la forme d'onde de fonctionnement pour laquelle le composant est prévu, par exemple dans le cas d'une largeur d'impulsion dont les formes d'ondes sont modulées symétriquement ou asymétriquement.

³ Des durées d'impulsion supérieures à 50 % de la durée maximale assignée peuvent être spécifiées à condition qu'elles n'entraînent pas de saturation du noyau ou d'autres anomalies.

⁴ Une fréquence d'essai plus basse peut être spécifiée à condition qu'elle n'entraîne pas de saturation du noyau ou d'autres anomalies.

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 d'essai pour les Procédures 1, 2 et 3

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

- a) la tension d'essai doit être appliquée en croissant du tiers de la tension spécifiée jusqu'à sa pleine valeur, puis être maintenue à cette valeur pendant $60\text{ s} \pm 5\text{ s}$ avant d'être ramenée au tiers de la valeur spécifiée et enfin à zéro;
- b) 5 s à 10 s (valeur à indiquer).

Exigences:

Il ne doit y avoir aucun signe d'échauffement, de claquage ou de détérioration. L'ionisation ne doit pas être considérée comme un critère de rupture.

Informations à préciser dans la spécification particulière:

- a) tension d'essai (efficace ou de crête, selon le cas);
- b) enroulement(s) à exciter (voir dernier alinéa du 4.4.2.1);
- 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 d'essai ou fréquence de répétition des impulsions (selon le cas);
- f) durée de l'impulsion (applicable à la Procédure 2).

NOTE La source qui fournit la tension d'essai peut être connectée à d'autres enroulements que 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.

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

100 V $\pm$ 10 V pour des enroulements avec une tension de service crête < 500 V; ou

500 V $\pm$ 10 V pour des enroulements avec une tension de service crête $\geq$ 500 V.

La tension d'essai doit être appliquée jusqu'à obtention d'une valeur stabilisée ou, à défaut, pendant $60\text{ s} \pm 5\text{ s}$.

Si des conditions d'environnement sont exigées dans la spécification particulière pour cet essai, le composant doit être maintenu dans les conditions spécifiées pendant au moins 6 h, sauf spécification contraire (se reporter à l'IEC 60068 (toutes les parties) pour obtenir des informations concernant les essais d'environnement).

Informations à préciser:

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

4.4.3 Pertes

4.4.3.1 Courant à vide

Objet: Vérifier que le noyau est de la qualité exigée, qu'il est correctement assemblé et qu'aucune partie des enroulements n'est en court-circuit.

Procédure: La tension spécifiée à la fréquence ou aux fréquences spécifiées doit être appliquée à partir d'une source à faible impédance à l'enroulement d'entrée, tous les autres enroulements étant en circuit ouvert. La distorsion harmonique à la tension appliquée doit être inférieure à 6 %. Le courant d'entrée doit être mesuré avec un instrument de précision en valeur efficace, dont l'impédance est suffisamment basse pour ne pas avoir d'influence supérieure à 1 % sur la tension appliquée. Le courant d'entrée doit être mesuré quand sa valeur est stabilisée. Pour les composants polyphasés, tous les courants d'entrée doivent être mesurés. Un schéma d'essai est représenté à la Figure 4.

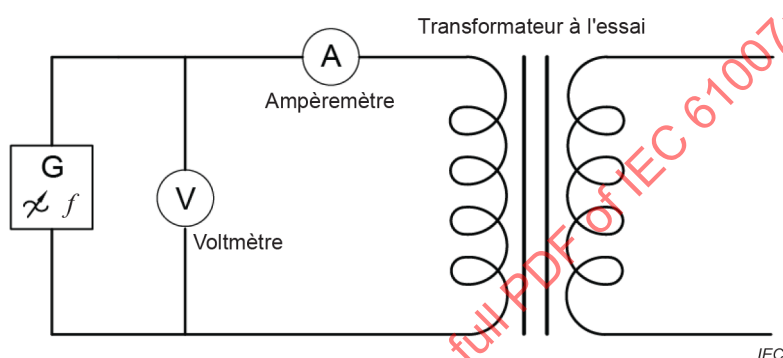


Figure 4 – Schéma d'essai de courant à vide

Informations à préciser:

- tension alternative;
- fréquence d'essai;
- enroulement à soumettre à l'essai;
- valeur maximale efficace du courant d'entrée.

4.4.3.2 Pertes à vide

Objet: Vérifier que le transformateur est de la qualité exigée, qu'il est correctement monté et qu'aucune partie des enroulements n'est en court-circuit.

Procédure: La tension spécifiée à la fréquence spécifiée doit être appliquée à l'enroulement d'entrée par le biais d'un wattmètre adapté, tous les autres enroulements étant en circuit ouvert. La distorsion harmonique de la tension quand elle est appliquée à l'enroulement doit être inférieure à 6 % (voir Annexe D). Un schéma d'essai est représenté à la Figure 5.

Les pertes de puissance doivent être mesurées quand leur valeur est stabilisée, une correction étant effectuée pour les pertes internes au wattmètre si celles-ci sont significatives.

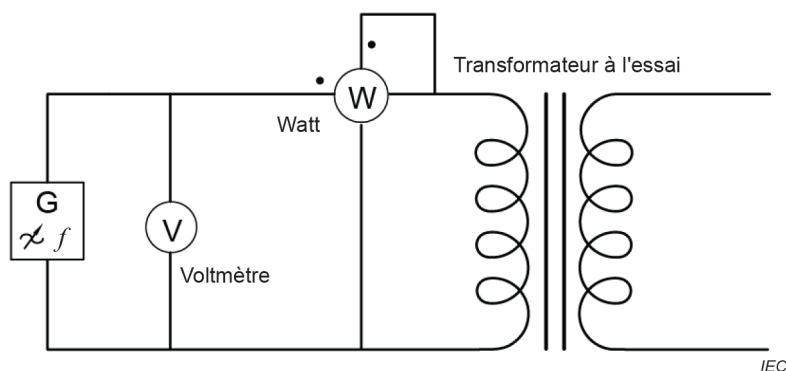


Figure 5 – Schéma d'essai de pertes à vide

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, Q

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

Procédure: Le facteur de surtension, Q , doit être mesuré à la tension et à la fréquence spécifiées au moyen d'une méthode appropriée, par exemple:

- a) par un pont d'inductance adéquat;
- b) par un appareil de mesure de l'amplification du circuit (du type à résonance);
- c) par la méthode des pertes d'insertion;
- d) par la méthode d'essai d'oscillation amortie (voir Annexe E).

Les relations entre l'inductance efficace L et la résistance R du composant à l'essai, selon l'utilisation d'une représentation en série (s) ou en parallèle (p) du circuit, et la valeur mesurée pour Q à la fréquence f sont données par les formules:

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

et

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

respectivement.

Informations à préciser:

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

NOTE Lors des essais, pour des facteurs de surtension Q élevés, des corrections du facteur de dissipation du condensateur et de l'impédance des connexions peuvent être nécessaires.

4.4.3.4 Essai de puissance en court-circuit

Objet: L'essai de puissance en court-circuit a pour objet de déterminer les pertes dues à la résistance effective du transformateur en courant alternatif, en excluant les pertes du noyau, au courant assigné.

Procédure: Un schéma simplifié est représenté à la Figure 6. Le circuit comprend une source de puissance de fréquence spécifiée, un ampèremètre pour contrôler le courant primaire du transformateur, et un wattmètre pour mesurer les pertes dans le circuit primaire du transformateur. L'enroulement secondaire est court-circuité avec la moindre impédance possible.

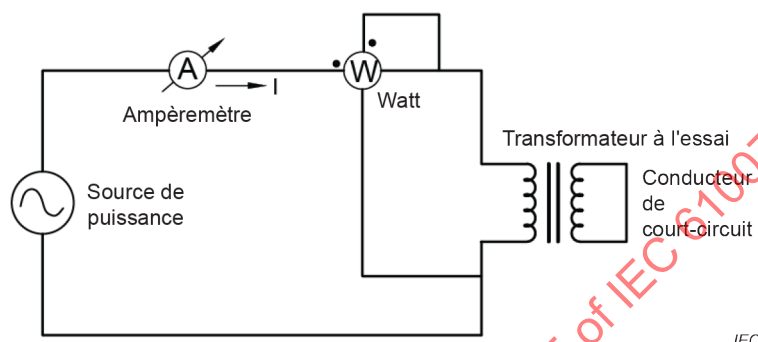


Figure 6 – Schéma simplifié pour l'essai de puissance en court-circuit

Informations à préciser:

- la source de puissance doit fournir la tension et le courant exigés avec une limite de distorsion harmonique spécifiée;
- le wattmètre doit indiquer la puissance réelle perdue dans le transformateur à l'essai avec la précision spécifiée;
- l'ampèremètre doit indiquer la valeur efficace du courant dans l'enroulement primaire avec une précision spécifiée;
- le conducteur de court-circuit et ses connexions aux bornes de l'enroulement secondaire doivent avoir des impédances négligeables par rapport à l'enroulement secondaire.

Le transformateur est branché dans le circuit d'essai. Il convient d'appliquer la tension d'entrée en croissant de 0 V jusqu'à obtention du courant assigné, indiqué sur l'ampèremètre. La puissance P indiquée par le wattmètre est la puissance en court-circuit, qui est la somme des pertes dans l'enroulement d'essai et dans tous les enroulements de court-circuit, plus la perte de puissance du wattmètre.

NOTE La mesure est réalisée le plus rapidement possible après application de l'excitation, afin de réduire le plus possible les effets de l'autoéchauffement.

4.4.3.5 Rendement

Le rendement du transformateur est le rapport entre sa puissance de sortie totale et la puissance d'entrée dans le dispositif, exprimé en pourcentage:

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100$$

où

P_{out} est la puissance de sortie totale;

P_{in} est la puissance d'entrée.

Le rendement des transformateurs peut être calculé avec plus de précision lorsque la perte P_{loss} , incluant les pertes du noyau et du cuivre, est connue à partir de mesures ou d'estimations indépendantes:

$$\eta = \frac{P_{\text{in}} - P_{\text{loss}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100 = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + P_{\text{loss}}} \cdot 100$$

où

P_{out} est la puissance de sortie totale;

P_{in} est la puissance d'entrée;

P_{loss} est la perte.

4.4.4 Inductance

4.4.4.1 Inductance efficace

Objet: Mesurer l'inductance efficace d'un enroulement.

Procédure: L'inductance de l'enroulement spécifié doit être mesurée sur 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;

NOTE 1 Dans le cas de composants avec un faible facteur de surtension Q , en général 10 ou moins, la méthode de mesure (en série ou en parallèle) est spécifiée.

NOTE 2 Il y a une différence entre l'inductance réelle L_0 mesurée à basse fréquence et l'inductance efficace L_e mesurée à des fréquences suffisamment proches de la self-résonance pour que cette dernière ait une influence sur l'inductance mesurée.

- c) tension alternative sur l'enroulement mesuré;
- d) fréquence de mesure;
- e) courant continu superposé.

4.4.4.2 Inductance de fuite, L_1

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

Procédure: L'inductance série de l'enroulement spécifié doit être mesurée sur un pont adéquat, les autres enroulements ou un enroulement spécifique étant court-circuités comme spécifié.

Informations à préciser:

- a) enroulement d'essai et branchement des autres enroulements;
- b) tension alternative;
- c) fréquence de mesure.

4.4.5 Déséquilibre

4.4.5.1 Déséquilibre de capacité

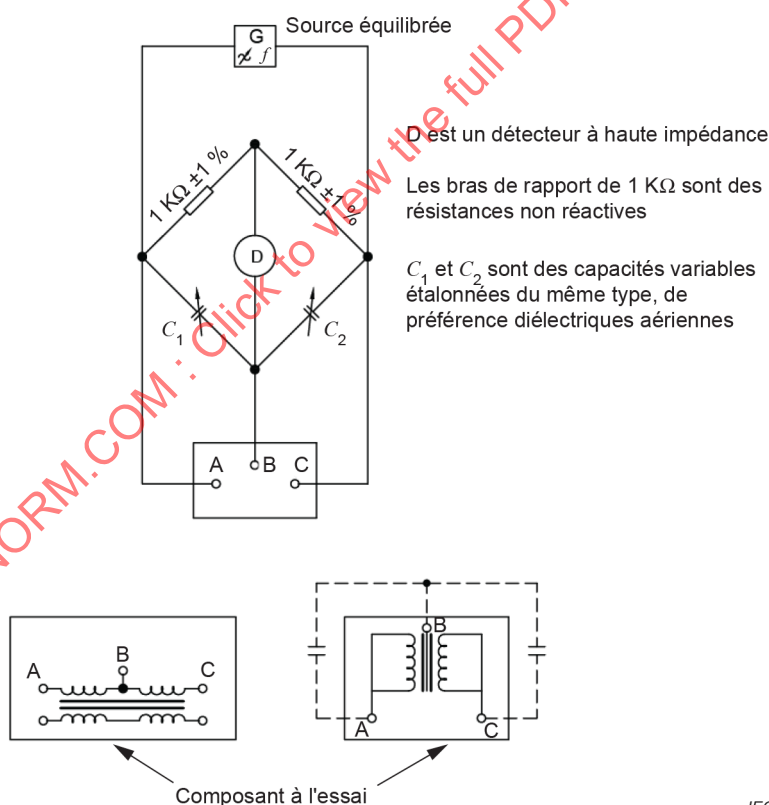
Objet: Déterminer le déséquilibre de capacité entre les connexions spécifiées d'un transformateur.

Procédure: Un circuit de mesure adéquat pour ce paramètre est représenté à la Figure 7. 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 à l'essai, la capacité C_1 est définie sur 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 la Figure 7, et le pont est rééquilibré en faisant varier la capacité C_1 . La différence entre les deux valeurs de C_1 correspond au déséquilibre de capacité.

Informations à préciser:

- valeur initiale de la capacité C_1 ;
- branchement du composant;
- fréquence.



NOTE Les lettres de repère des sorties sont données à titre indicatif uniquement.

Figure 7 – Circuit pour la mesure du déséquilibre de capacité

4.4.5.2 Rapport de réjection de mode commun

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

Procédure: Un circuit adéquat pour cet essai est représenté à la Figure 8.

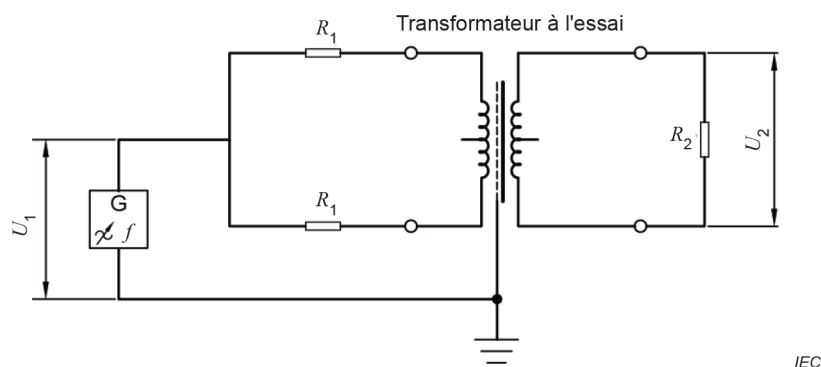


Figure 8 – Circuit pour la détermination du rapport de réjection de mode commun

Les bornes d'entrée du transformateur à l'essai sont connectées à la borne haut potentiel d'une source d'alimentation par le biais de résistances R_1 , chacune égale à la moitié de l'impédance d'entrée. Les bornes de sortie du transformateur à l'essai sont connectées à une résistance R_2 dont la valeur est indiquée dans la spécification particulière.

Le rapport de réjection de mode commun (CMRR, common mode rejection ratio), en décibels, est donné par la formule suivante:

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

où

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

U_2 est la tension du signal en mode commun qui provient du composant à l'essai.

Informations à préciser:

- branchement du transformateur, incluant les mises à la terre;
- fréquence d'essai;
- impédance d'entrée, $2R_1$;
- 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 considérés égaux.

Procédure: Un circuit adéquat pour cet essai est représenté à la Figure 9.

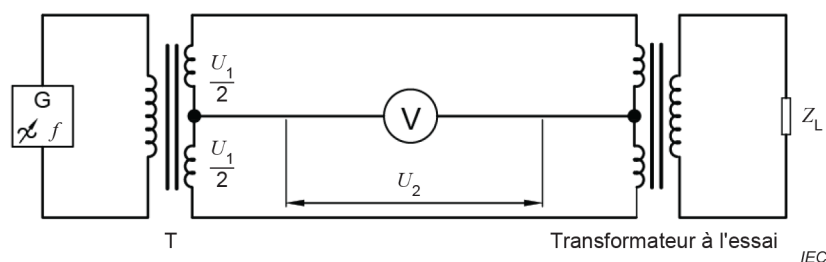


Figure 9 – Circuit pour la mesure du déséquilibre d'impédance

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

Si la tension due au déséquilibre, mesurée par le voltmètre V, est U_2 , le déséquilibre d'impédance a_{uz} , en décibels, est donné par la formule suivante:

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

Informations à préciser:

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

Il est recommandé d'utiliser un voltmètre à fréquence sélective V réglé sur la fréquence d'essai.

4.4.5.4 Affaiblissement diaphonique

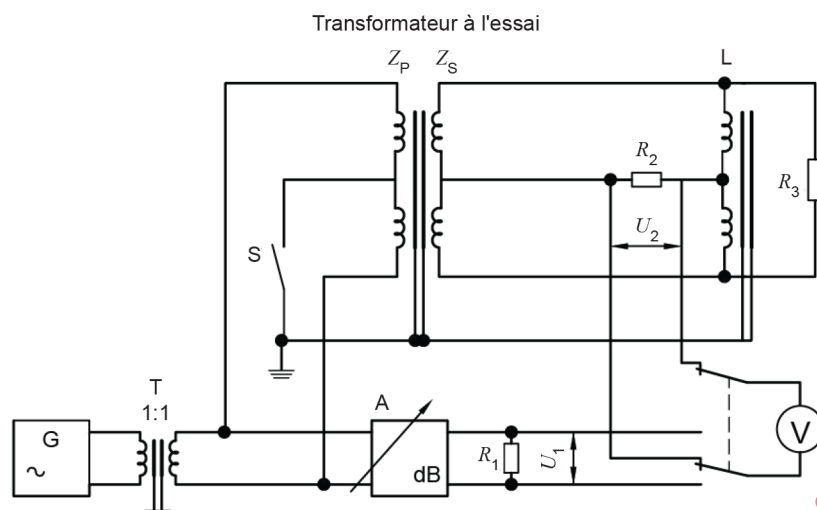
Objet: Déterminer l'affaiblissement diaphonique d'un transformateur de ligne téléphonique utilisé dans un circuit fictif.

Procédure: Un circuit d'essai adéquat est représenté à la Figure 10.

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

L'affaiblissement diaphonique a_c en décibels doit alors être calculé en fonction de l'indication de l'atténuateur a_r à partir de l'expression suivante:

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



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 prévue pour le transformateur à l'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 fonctionnement de cet ensemble d'essai et qui a une impédance supérieure à 10 kΩ.

S est un interrupteur permettant de mettre le point milieu primaire du transformateur à la terre si cela est exigé.

Z_p est l'impédance spécifiée du primaire.

Z_s est l'impédance spécifiée du secondaire.

R_1 est une résistance de valeur équivalente 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 10 – Circuit pour la détermination de l'affaiblissement diaphonique

Informations à préciser:

- impédances primaire et secondaire du transformateur;
- impédance du circuit fictif;
- fréquence d'essai si différente de 800 Hz;
- si le point milieu de l'enroulement primaire du transformateur doit être mis à la terre ou non.

4.4.5.5 Déséquilibre de tension

Objet: Déterminer le déséquilibre de tension entre deux enroulements qui sont considérés égaux.

Procédure: Le transformateur doit être raccordé à une source de tension et de fréquence spécifiées. Une charge résistive qui simule les conditions de fonctionnement doit être connectée aux enroulements appropriés. La tension aux bornes des enroulements à l'essai doit être mesurée et le déséquilibre de tension déterminé à partir des valeurs mesurées U_1 et U_2 , en pourcentage, en utilisant la formule:

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

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

$$a_{uv} = 20 \lg [U_1 / (U_1 - U_2)]$$

où U_1 est la plus grande des valeurs mesurées.

Informations à préciser:

- a) fréquence d'essai;
- b) tension à appliquer;
- 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 qui sont considérés égaux.

Procédure: La résistance en courant continu de chaque enroulement spécifié doit être mesurée en utilisant un instrument qui a une précision égale au dixième de la valeur ohmique du déséquilibre de résistance en courant continu spécifié ou meilleure. Le courant de mesure choisi ne doit pas provoquer d'échauffement ou de magnétisation significative du composant à l'essai.

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

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

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

$$a_{ur} = 20 \lg [R_1 / (R_1 - R_2)]$$

où R_1 est la plus grande des valeurs mesurées et R_2 la plus petite.

Informations à préciser:

- branchement des enroulements.

4.4.5.7 Déséquilibre de phase

Objet: Déterminer l'équilibrage de phase entre deux enroulements dont les phases sont considérées égales.

Procédure: Un circuit d'essai pertinent est représenté à la Figure 11.

Le déséquilibre de phase doit être mesuré entre deux accès de sortie. Pendant le mesurage, les autres sorties doivent être reliées par des charges appariées qui satisfont aux exigences d'essai. Répéter la mesure aux autres sorties, de la même manière.

Informations à préciser:

- a) instrument d'essai: analyseur de réseau vectoriel à quatre canaux ou équivalent;

- b) canal d'essai;
- c) déterminer par balayage la plage de fréquences exigée.

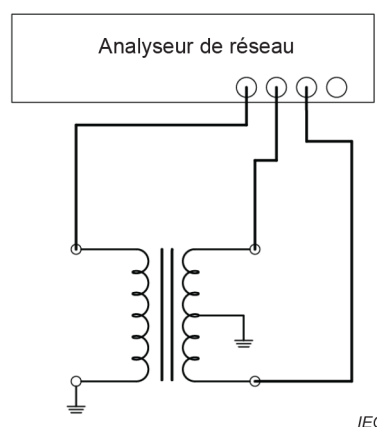


Figure 11 – Représentation schématique du déséquilibre de phase et du déséquilibre d'amplitude

4.4.5.8 Déséquilibre d'amplitude (fréquences radioélectriques)

Objet: Déterminer l'équilibrage d'amplitude entre deux enroulements dont les niveaux de sortie sont considérés égaux.

Procédure: Un circuit d'essai pertinent est représenté à la Figure 11.

Le déséquilibre d'amplitude doit être mesuré entre deux accès de sortie. Pendant le mesurage, les autres sorties doivent être reliées à des charges appariées qui satisfont aux exigences d'essai. Répéter la mesure aux autres sorties, de la même manière.

Informations à préciser:

- a) instrument d'essai: analyseur de réseau vectoriel à quatre canaux ou équivalent;
- b) canal d'essai;
- c) déterminer par balayage la plage de fréquences exigée.

4.4.6 Capacité

4.4.6.1 Self-capacité (capacité répartie)

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

Procédure 1: La mesure doit être effectuée en raccordant les extrémités de l'enroulement à un appareil de mesure du type à résonance par des connexions courtes. A la fréquence spécifiée (au moins cinq fois la fréquence de self-résonance de l'enroulement), l'enroulement doit être accordé avec une inductance spécifiée. L'enroulement doit alors être déconnecté de l'appareil de mesure et, en ajoutant une capacité à la place de l'enroulement, l'inductance doit être accordée à nouveau à la même fréquence. La capacité ajoutée doit être prise comme valeur effective de la self-capacité de l'enroulement.

Procédure 2: Des capacités de valeurs connues doivent être connectées en parallèle avec l'enroulement, et les fréquences de résonance du circuit parallèle ainsi réalisé doivent être mesurées sur un pont d'impédance parallèle ou d'admittance adéquat. Les valeurs de capacité doivent être représentées graphiquement en fonction de $1/f^2$. Si une ligne droite est obtenue, l'intersection avec l'axe des capacités doit être prise comme valeur de capacité exigée. Une représentation graphique type est donnée à la Figure 12.

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

$$\frac{1}{f^2(L_1/L)}$$

où

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

L_1 est l'inductance à la fréquence de mesure, la différence provenant du blindage par courant de Foucault;

f est la fréquence de mesure.

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

NOTE En pratique, la Procédure 2 n'est pas d'une précision rigoureuse, dans la mesure où l'intersection est très dépendante de la pente de la "droite" obtenue par des points qui tendent à être dispersés et situés trop loin de l'origine.

Informations à préciser:

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

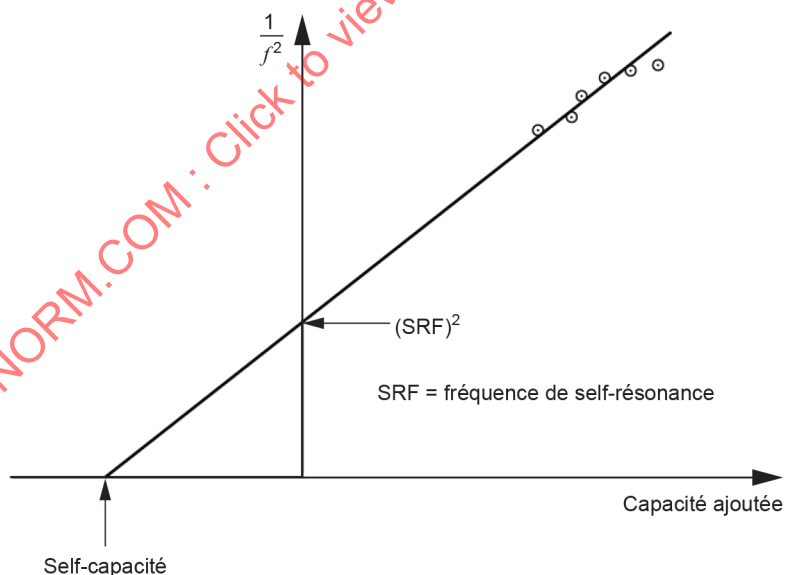


Figure 12 – Représentation graphique type pour la détermination de la self-capacité

Procédure 3: La self-capacité (capacité répartie) de l'enroulement est calculée en fonction de la fréquence de résonance et de l'inductance efficace (la valeur d'inductance du segment linéaire dans la plage de fréquences d'essai).

Il convient de calculer la self-capacité (capacité répartie) de l'enroulement comme suit:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

où

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

f est la fréquence de résonance parallèle L - C .

Informations à préciser:

- a) branchement des enroulements;
- b) tension alternative;
- c) plage de fréquences d'essai.

Pour les trois procédures, les conditions de mise à la terre doivent être celles spécifiées.

4.4.6.2 Capacité entre enroulements

Objet: Déterminer la capacité statique ou structurelle entre des enroulements spécifiés.

Procédure 1: Les enroulements à inclure dans la mesure doivent être court-circuités, sauf indication contraire dans la spécification particulière. Les points spécifiés de connexion, entre lesquels la capacité effective est exigée, doivent être connectés à un pont de capacité adéquat.

NOTE 1 Cette méthode convient à des fréquences relativement basses.

Procédure 2: Les points spécifiés de connexion des enroulements à soumettre à l'essai, chacun étant court-circuité sauf indication contraire, doivent être connectés de manière à constituer un circuit d'essai comme celui de la Figure 13, où X_c représente la réactance de la capacité à mesurer.

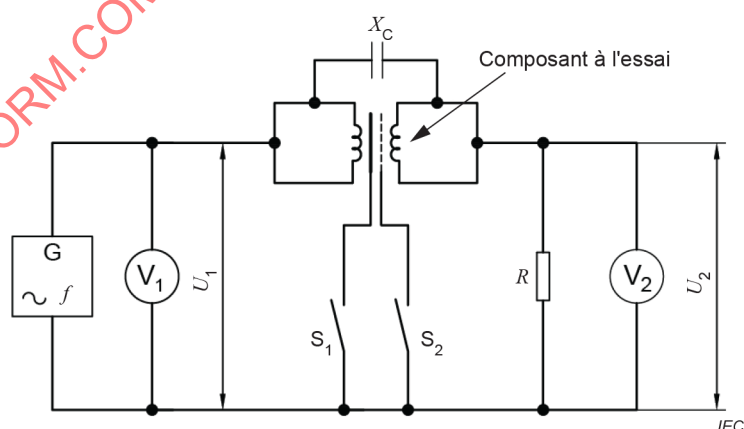


Figure 13 – Circuit pour la détermination de la capacité entre enroulements

Il convient que la résistance de R soit 100 à 1 000 fois plus petite que la valeur de X_c . Les valeurs de U_1 et de U_2 sont relevées sur les voltmètres V_1 et V_2 , respectivement, et la capacité entre les enroulements est calculée par la formule suivante:

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

où

f est la fréquence du générateur G .

NOTE 2 Lorsque de nombreux composants sont mesurés, il peut être approprié d'utiliser des valeurs fixes pour f , R et U_1 de manière à pouvoir lire directement U_2 en unités de capacité.

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

Informations à préciser:

- a) branchement des enroulements;
- b) pour la Procédure 1, fréquence d'essai.

4.4.6.3 Capacité entre éléments du montage

Objet: Déterminer la capacité statique entre deux éléments d'un transformateur (par exemple entre enroulement et écran et/ou noyau).

Procédure: Comme en 4.4.6.2.

Informations à préciser: Comme en 4.4.6.2.

4.4.7 Rapports de transformation

4.4.7.1 Rapport de transformation par impédance

Le rapport de transformation d'un transformateur réel, avec un premier enroulement de N_1 spires sur un deuxième enroulement de N_2 spires couplé magnétiquement au premier, peut être déterminé comme le rapport des impédances des deux enroulements, incluant les impédances mutuelles:

$$a_{12} = \frac{Z_{10} + K\sqrt{Z_{10} \cdot Z_{20}}}{Z_{20} + K\sqrt{Z_{10} \cdot Z_{20}}}$$

où

a_{12} est le rapport de transformation;

Z_{10} est l'impédance en circuit ouvert de l'enroulement primaire, $= R_{10} + j\omega L_{10}$;

Z_{20} est l'impédance en circuit ouvert de l'enroulement secondaire, $= R_{20} + j\omega L_{20}$;

K est le coefficient de couplage, $K\sqrt{Z_{10} \cdot Z_{20}}$ représentant l'impédance mutuelle entre les deux enroulements.

Dans le cas particulier où les angles de phase de Z_{10} et Z_{20} sont égaux, le rapport de transformation est égal au rapport des inductances mutuelles des deux enroulements, incluant les inductances:

$$a_{12} = \frac{L_{10} + K\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}}{L_{20} + K\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}}$$

où

a_{12} est le rapport de transformation;

L_{10} est l'inductance de l'enroulement primaire avec le secondaire en circuit ouvert;

L_{20} est l'inductance de l'enroulement secondaire avec le primaire en circuit ouvert;

K est le coefficient de couplage, $K\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}$ représentant l'inductance mutuelle entre les deux enroulements.

Cette condition est établie dans les ponts de rapport de transformation les plus conventionnels.

4.4.7.2 Coefficient de couplage

Le coefficient de couplage est l'étanchéité du couplage entre les enroulements:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}}$$

où

M est l'inductance mutuelle.

Dans les inductances de couplage, le coefficient de couplage est exprimé comme suit:

$$K = \frac{L_{sa} - L_{so}}{4\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}}$$

où

L_{sa} est l'inductance des deux enroulements connectés en série additive;

L_{so} est l'inductance des deux enroulements connectés en série et en opposition;

L_{10} est l'inductance de l'enroulement primaire avec le secondaire en circuit ouvert;

L_{20} est l'inductance de l'enroulement secondaire avec le primaire en circuit ouvert.

Dans un transformateur, le coefficient de couplage est exprimé comme suit:

$$K = \sqrt{1 - \frac{L_s}{L_{10}}}$$

L_{10} est l'inductance de l'enroulement primaire avec le secondaire en circuit ouvert;

L_s est l'inductance de l'enroulement primaire avec le secondaire en court-circuit.

4.4.7.3 Rapport de transformation de la tension

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

Procédure 1: Une alimentation de tension et de fréquence spécifiées doit être connectée à l'enroulement spécifié, tous les autres enroulements étant en circuit ouvert. La tension de sortie de l'enroulement approprié doit être mesurée et le rapport exigé doit être déterminé.

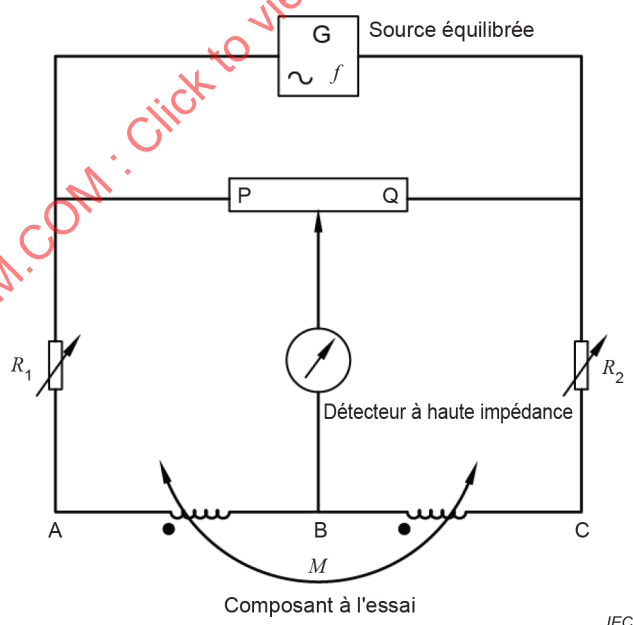
Il convient que l'instrument de mesure ait une impédance suffisamment haute pour que ses effets sur la tension mesurée soient négligeables.

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 faible impédance à une fréquence où l'enroulement montre son coefficient de surtension Q maximal, 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.

Procédure 2 (seulement pour les composants monophasés): Les deux enroulements à l'essai doivent être incorporés dans un circuit en pont, comme le montre la Figure 14. Les enroulements à l'essai doivent être connectés de telle manière que l'inductance totale entre les bornes A et C soit augmentée par l'effet de l'inductance mutuelle M entre les enroulements. Les résistances R_1 et R_2 sont définies sur les valeurs données dans la spécification particulière, et un équilibre initial est obtenu en faisant varier P/Q . Un équilibre final du pont, comme indiqué par la lecture d'une valeur minimale du détecteur, doit alors être obtenu en ajustant à la fois R_1 (ou R_2) et P/Q , et le rapport de transformation de la tension doit être calculé comme $AB/BC = P/Q$.



P et Q sont des unités de résistances non réactives à décades.

R_1 et R_2 sont des résistances variables non réactives.

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

Figure 14 – Circuit pour la mesure du rapport de transformation de la tension

Informations à préciser dans la spécification particulière:

- a) niveau de tension alternative;

- b) fréquence de mesure;
- c) valeurs initiales de R_1 et R_2 ;
- d) extrémités entre lesquelles les mesures doivent être réalisées;
- e) limites du rapport de transformation de la tension.

Procédure 3 (applicable aux enroulements du secondaire et aux enroulements multiples): Saisir la fréquence et la tension spécifiées sur le compteur de tours et définir le nombre de spires pour les enroulements connectés à l'instrument au niveau de la sortie. Relier la borne de sortie de l'instrument à l'enroulement spécifié et la borne d'entrée à l'autre enroulement afin de mesurer la valeur de sortie de l'enroulement correspondant et de déterminer le rapport de transformation de la tension exigé, le nombre de spires étant égal au rapport de tension ($N_1 / N_2 = U_1 / U_2$).

Informations à préciser:

- a) tension de mesure;
- b) fréquence de mesure;
- c) nombre de spires pour les enroulements connectés à l'instrument au niveau de la sortie;
- d) enroulements à connecter et à mesurer;
- e) écart admissible du rapport de transformation de la tension.

4.4.7.4 Rapport de transformation du courant

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

Procédure 1: Relier le transformateur de courant CT au circuit de mesure de la Figure 15, régler le point de prise sur R_2 et M , et définir l'indicateur sur zéro pour se référer aux formules suivantes:

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

$$\beta = \arctan \frac{\omega \cdot M}{R_2''}$$

où

k est le rapport de transformation du courant;

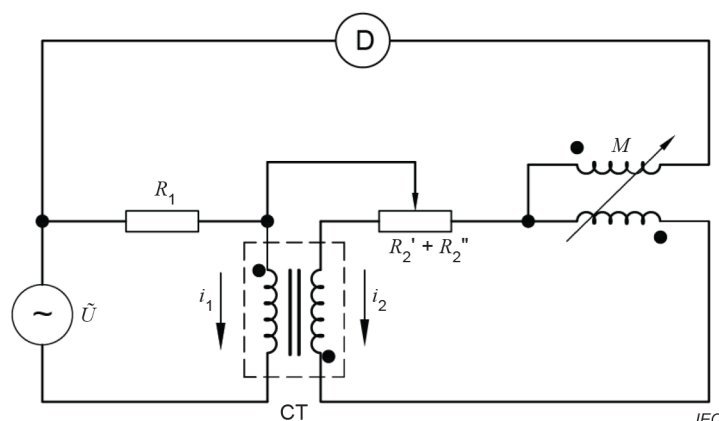
β est le décalage de phase du courant entre deux enroulements;

R_2'' est une partie de R_2 qui entre dans le circuit de l'indicateur ($R_2' + R_2''$);

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

La polarité de l'enroulement du transformateur de courant doit indiquer que la phase de tension entre les bornes R_1 et R_2 est en série et en opposition par rapport à l'indicateur. La polarité de l'enroulement M doit atteindre un équilibre.

NOTE Une valeur de R_2 est choisie pour charger l'enroulement secondaire du transformateur CT à sa charge assignée. Pour la première charge approximative, la valeur de R_1 est obtenue à partir de celle choisie pour R_2 , qui, combinée à la charge assignée, détermine la valeur approximative de i_2 . En prenant pour hypothèse que la valeur spécifiée de K est correcte, la valeur de i_1 peut être calculée. La tension du générateur de signaux d'essai étant connue, la valeur de R_1 peut être obtenue.



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 15 – Circuit pour la mesure du rapport de transformation du courant et du décalage de phase

Informations à préciser:

- a) courant primaire assigné;
- b) charge assignée;
- c) fréquence de mesure;
- d) rapport de transformation du courant et écart admissible;
- e) décalage de phase du courant et écart admissible.

Procédure 2: Mesurer numériquement le rapport de transformation du courant et le décalage de phase du courant.

Relier le transformateur de courant CT au circuit de mesure de la Figure 16, régler le courant de sortie de la source de courant constant à large bande i_1 , et se référer aux formules suivantes:

$$K = \frac{|\dot{I}_1|}{|\dot{I}_2|} = \frac{|U_1 \cdot R_2|}{|U_2 \cdot R_1|}$$

$$\beta = \angle(\dot{U}_1 - \dot{U}_2)$$

où

K est le rapport de transformation du courant;

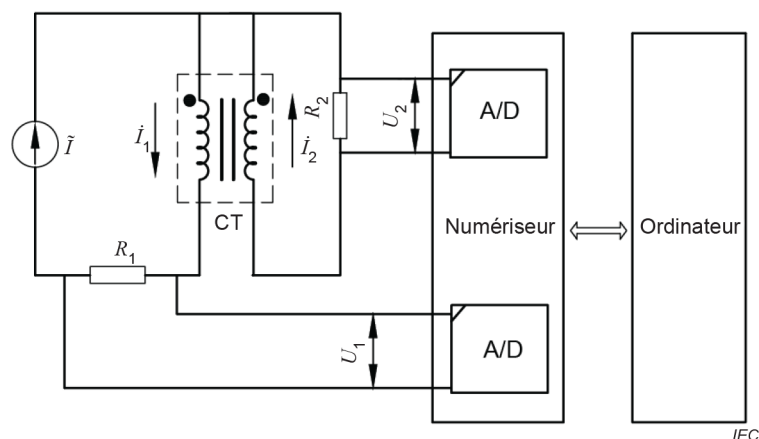
β est le décalage de phase du courant entre deux enroulements;

$\dot{I}_1$ est le courant dans le circuit primaire;

$\dot{I}_2$ est le courant dans le circuit secondaire;

R_1 est la résistance d'échantillonnage dans le circuit primaire;

R_2 est la résistance d'échantillonnage dans le circuit secondaire.



CT est le transformateur de courant à l'essai

NOTE R_1 et R_2 sont des résistances non inductives.

Figure 16 – Circuit de mesure du rapport de transformation du courant et du décalage de phase

Informations à préciser:

- courant primaire assigné;
- charge assignée;
- fréquence de mesure;
- rapport de transformation du courant et écart admissible;
- décalage de phase du courant et écart admissible.

4.4.8 Fréquence de résonance

4.4.8.1 Généralités

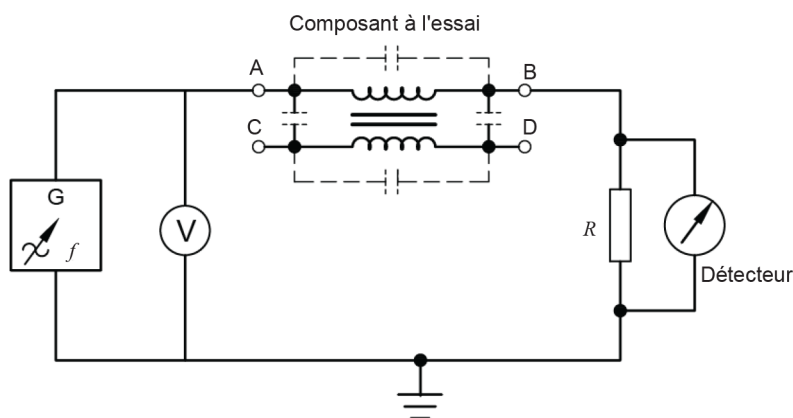
Pour les deux essais suivants, il convient de veiller à éviter les erreurs provoquées par les capacités entre les bornes d'essai ou entre les composants et la terre, en particulier s'il est nécessaire d'effectuer l'essai avec le noyau connecté à l'une des bornes d'essai.

4.4.8.2 Self-résonance intrinsèque

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

Procédure 1: Le composant à l'essai est connecté dans le circuit d'essai de la Figure 17, dont les éléments satisfont aux exigences suivantes:

- la source du signal doit avoir une impédance de sortie suffisamment faible 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 doit être non réactive et doit avoir une valeur aussi basse que possible compatible avec l'obtention d'un niveau de tension adéquat.



IEC

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

Figure 17 – Circuit pour la détermination de la fréquence de self-résonance parallèle

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

Informations à préciser:

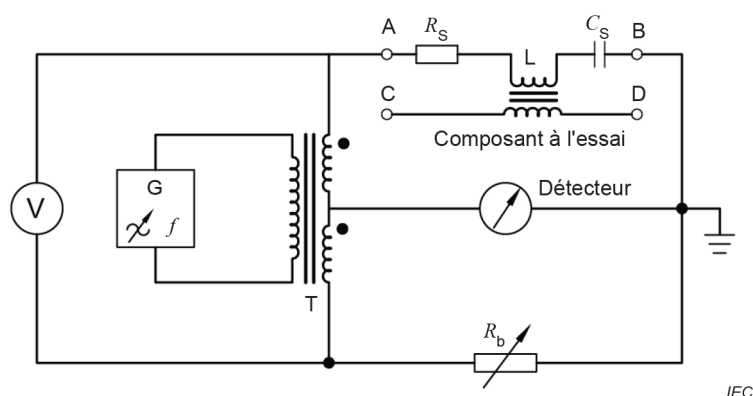
- a) tension alternative;
- b) valeur de la résistance R ;
- c) connexions incluant la mise à la terre des parties du composant et du circuit d'essai;
- d) plage de fréquences à examiner.

NOTE Les Procédures 2 et 3 indiquées en 4.4.6.1 peuvent être utilisées comme procédures alternatives en 4.4.8.2.

4.4.8.3 Ensembles résonants

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

Procédure: Avec le composant à l'essai connecté comme le montre le schéma du circuit de base représenté à la Figure 18, la fréquence du générateur et la valeur de R_b doivent être approximativement réglées aux valeurs indiquées dans la spécification particulière. Avec la sortie du générateur maintenue au niveau indiqué dans la spécification particulière, la fréquence du générateur et la valeur de R_b doivent être modifiées, chacune à son tour, jusqu'à ce que la déviation minimale soit obtenue sur le détecteur. Les valeurs relevées pour f et R_b correspondent à la fréquence de résonance exigée et à la résistance série effective du composant à l'essai.



Légende

G est un oscillateur de puissance qui couvre la plage de fréquences de résonance 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 égale à 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 adapté pour être utilisé dans la plage de fréquences indiquée dans la spécification particulière.

NOTE 1 Le détecteur est un appareil de mesure de haute impédance, de sensibilité adaptée à la plage de fréquences spécifiée. Cet élément de circuit peut comprendre un transformateur à écran.

NOTE 2 Les lettres de repérage des sorties sont données à titre indicatif uniquement.

NOTE 3 Ce circuit est également valable pour une combinaison de L et de C en parallèle.

Figure 18 – Circuit pour la détermination de la fréquence de résonance d'ensembles résonants

Informations à préciser dans la spécification particulière:

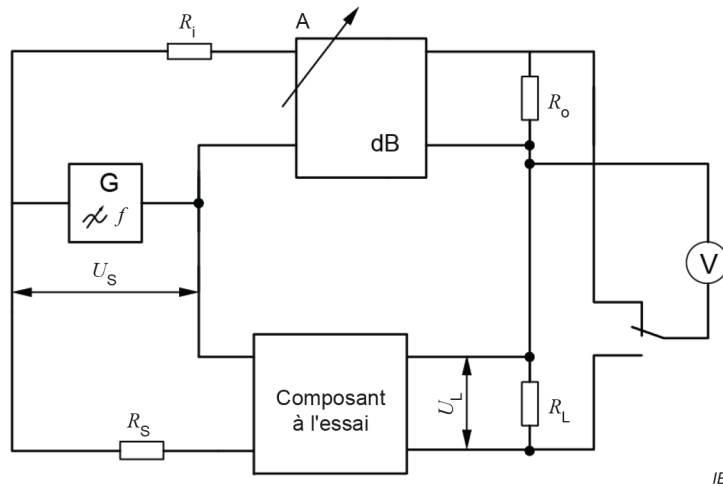
- niveau de tension alternative;
- limites exigées (minimale et maximale) de la fréquence de résonance;
- valeur de la résistance série effective (maximale et/ou minimale), si cela est exigé;
- détails de la charge et des connexions avec référence particulière à la mise à la terre des parties du ou des composants.

4.4.9 Caractéristiques de 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 plage de fréquences spécifiée quand le transformateur est connecté entre une impédance de source et une impédance de charge déterminées.

Procédure: Le transformateur doit être connecté dans le circuit de base de la Figure 19.



G est un générateur de fréquence variable qui couvre la plage de fréquences spécifiée pour l'essai;
A est un atténuateur variable de précision qui a une impédance d'entrée R_i et une impédance de sortie R_o ;
V est un voltmètre de haute impédance, à fréquence sélective;
 R_i est une résistance de valeur équivalente à l'impédance d'entrée de l'atténuateur;
 R_o est une résistance de valeur équivalente à l'impédance de sortie de l'atténuateur;
 R_L est une résistance de valeur équivalente à l'impédance de charge spécifiée du transformateur;
 R_s est une résistance de valeur équivalente 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 ne s'applique que si $U_L \leq U_s / 2$ et $R_L \leq R_s$.

Figure 19 – Circuit pour la détermination des pertes d'insertion

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

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

Si le rapport n'est pas égal à 1, l'indication 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 suivante:

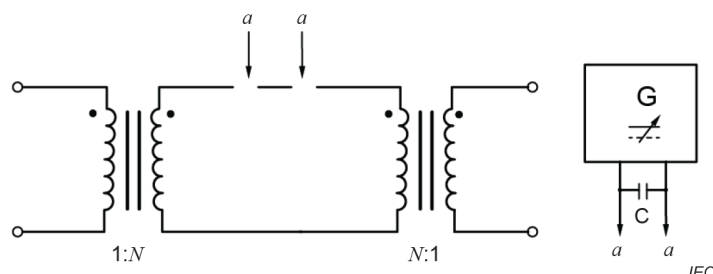
$$a_i = a_r - 10 \lg(R_s/R_L)$$

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 une 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:

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

NOTE En général, Z_s et Z_L sont des grandeurs complexes.

Quand le rapport du transformateur diffère notablement de 1, des mesures plus fiables peuvent être obtenues en utilisant deux éprouvettes identiques, comme le montre la Figure 20, pour constituer le "composant à l'essai" de la Figure 19. Ce montage facilite également les mesures lorsque des courants de polarisation sont exigés.



C doit avoir une réactance négligeable à la fréquence d'essai.

Figure 20 – Utilisation de deux transformateurs identiques lorsque le rapport de transformation est différent de 1 et/ou qu'un courant continu est exigé

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

Informations à préciser:

- a) branchement des enroulements;
- b) impédance de source;
- c) impédance de charge;
- d) tension d'alimentation;
- e) plage de fréquences de mesure;
- f) courant de polarisation (le cas échéant).

Il convient de maintenir les couplages parasites entre l'entrée et la sortie au minimum par un blindage approprié et par mise à la terre.

4.4.9.2 Affaiblissement

Objet: Déterminer 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 reliés à leurs impédances de charge appropriées.

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

$$a_{\text{ri}} = 10 \lg(W_{\text{a}}/W_{\text{r}})$$

où

W_{a} est la puissance maximale disponible dans la charge;

W_{r} est la puissance réfléchie.

Ainsi, comme le montre la Figure 21, pour un générateur d'impédance de sortie R_G et de tension en circuit ouvert U_o connecté à une charge R_L , les conditions de puissance maximale disponible apparaissent quand $R_L = R_G$, et dans ce cas:

$$W_a = \frac{U_o^2}{4R_G}$$

Quand R_L a une autre valeur, la différence entre la puissance réelle développée et la puissance maximale possible dans la charge, correspondant à la puissance réfléchie, est donnée par:

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

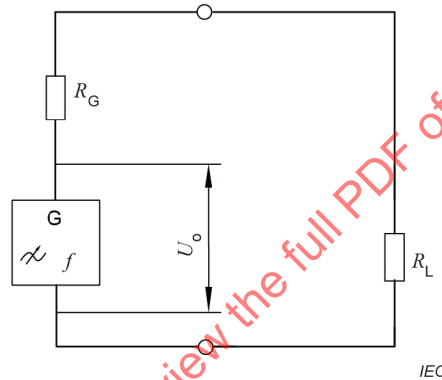


Figure 21 – Représentation de l'affaiblissement

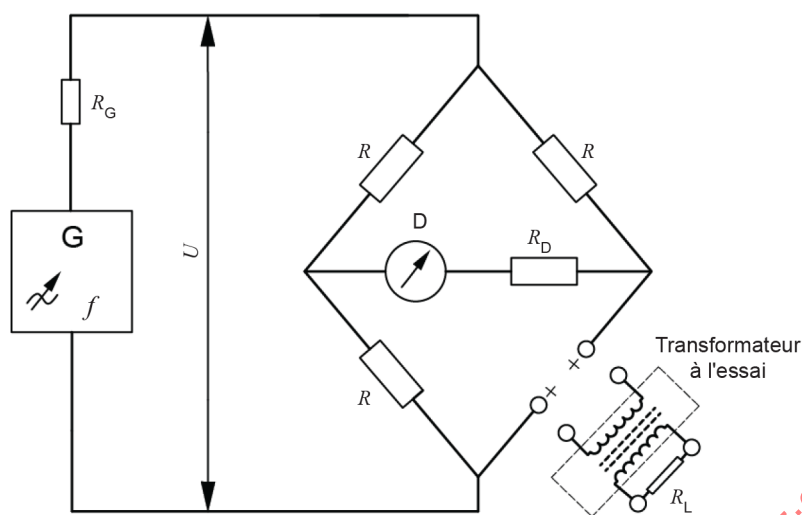
Alors la valeur de l'affaiblissement a_{rl} en décibels est donnée par:

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

Procédure: Le circuit de mesure du pont de base représenté à la Figure 22 est établi avec ses éléments égaux à R_G ; la tension U et la fréquence f de la source sont définies sur les valeurs spécifiées. Les pertes initiales du circuit en pont, enregistrées sur le décibelmètre étalonné D quand les bornes X sont soit en court-circuit soit en circuit ouvert, sont consignées. Ces pertes sont appelées a_1 . Le transformateur à l'essai est alors connecté aux bornes X et les pertes indiquées par D sont à nouveau consignées. Ces pertes sont appelées a_2 .

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

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



Les résistances R sont indépendantes de la fréquence et appariées les unes par rapport aux autres à $\pm 0,1 \%$.

$R = R_G = R_D$ (= en général 600Ω)

D est un décibelmètre d'usage courant pour des impédances de référence normalisées telles que 600Ω .

Figure 22 – Circuit d'essai pour l'affaiblissement de base

Il convient que les pertes initiales du circuit en pont a_1 soient proches de 12 dB; la valeur mesurée dépend de la précision des éléments du circuit en pont, en particulier de la source et des impédances du décibelmètre étalonné.

NOTE Des instruments de mesure d'usage courant disponibles dans le commerce qui incorporent l'ensemble des circuits nécessaires pour obtenir une mesure directe de l'affaiblissement peuvent être utilisés.

Informations à préciser:

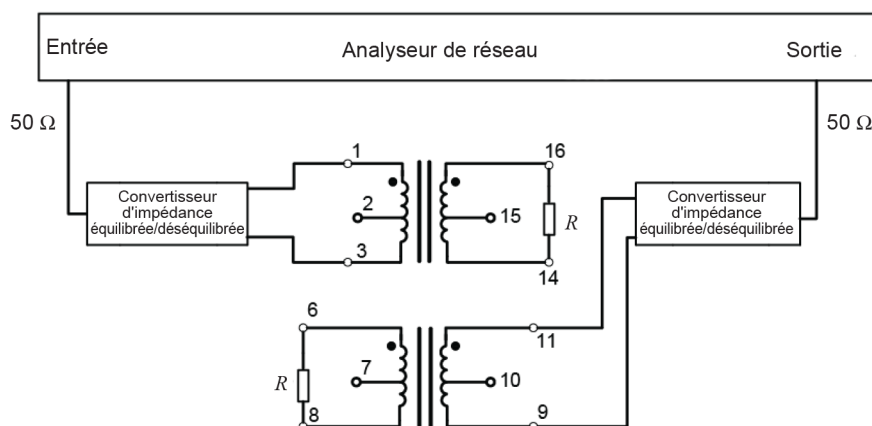
- impédance en fonction de laquelle l'affaiblissement doit être mesuré, R ;
- branchement des enroulements;
- résistance de charge R_L ou impédance de charge Z_L ;
- tension(s) d'alimentation;
- fréquences de mesure;
- courant continu dans les enroulements de sortie, si exigé.

4.4.10 Diaphonie

Objet: Déterminer le couplage des paramètres d'induction spatiale ou des paramètres parasites correspondants d'un enroulement spécifique d'un transformateur sur tous les autres enroulements. Le couplage est exprimé par les pertes croisées.

Procédure: Le circuit de mesure de base, représenté à la Figure 23, comprend un analyseur de réseau et un convertisseur d'impédance équilibrée/déséquilibrée. Le programme d'essai de l'analyseur de réseau est lancé et la fréquence est ajustée à une valeur spécifiée. Lorsque le début d'un ensemble d'enroulements est relié à la borne de sortie de l'analyseur de réseau, la fin est reliée à la charge (conformément à la spécification particulière); le début de l'autre ensemble d'enroulements est relié à la charge (conformément à la spécification particulière) et la fin est reliée à la borne d'entrée de l'analyseur de réseau. Les décibels à chaque point de fréquence de l'analyseur de réseau correspondent aux interférences croisées.

Le schéma du circuit de mesure des interférences croisées des transformateurs (dB) est représenté à la Figure 23:



La résistance de charge R est une valeur type, par exemple 50 Ω ou 100 Ω .

Figure 23 – Schéma du circuit pour la mesure des interférences croisées entre deux bobines d'un transformateur

Informations à préciser:

- a) branchement des enroulements;
- b) impédance de source et impédance de charge;
- c) plage de fréquences d'essai.

4.4.11 Réponse en fréquence

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

Procédure: Le composant, avec son impédance de source et son impédance de charge déterminées, doit être 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 19). Si cela est spécifié, les autres enroulements doivent être chargés et polarisés en courant continu. A la fréquence de référence spécifiée f_0 , l'atténuateur doit être ajusté jusqu'à ce que la tension U_o soit égale à U_L , selon les indications d'un voltmètre à fréquence sélective. La valeur indiquée par l'atténuateur doit être notée. La variation de l'indication de l'atténuateur nécessaire pour rendre U_o égale à U_L à toute autre fréquence donne le gain relatif ou la perte relative du composant à cette fréquence par rapport à la fréquence de référence. Une représentation graphique de ce gain ou de cette perte en fonction de la fréquence constitue la courbe de réponse en fréquence.

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

$$20 \lg (U_f / U_{f0})$$

où

U_f est la tension de sortie à la fréquence f ;

U_{f0} 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, le cas échéant.

4.4.12 Caractéristiques d'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.

Procédure: L'impulsion d'entrée spécifiée doit être appliquée à l'enroulement d'entrée avec les enroulements de sortie connectés aux charges spécifiées. L'impulsion obtenue dans la charge spécifiée doit être analysée sur un oscilloscope qui a une base de temps et une tension de déviation étalonnées. Les caractéristiques de l'oscilloscope et des circuits associés doivent être choisies de façon que l'impulsion observée ne soit pas déformée du fait de problèmes tels qu'une capacité excessive, une bande de fréquences insuffisante ou une inductance de charge excessive.

Les mesures suivantes doivent être réalisées lorsque les spécifications applicables l'exigent:

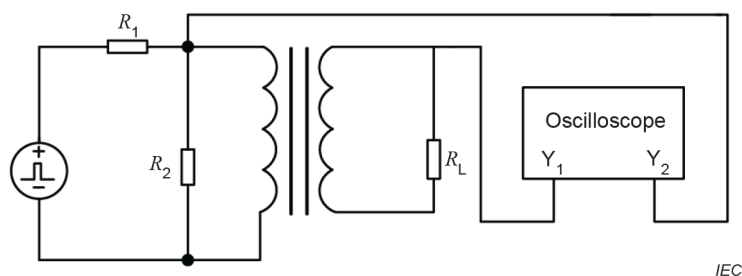
- a) amplitude de crête de l'impulsion, U_m ;
- b) durée de l'impulsion, t_d ;
- c) temps de montée de l'impulsion, t_r ;
- d) temps de descente de l'impulsion, t_f ;
- e) chute de palier;
- f) dépassement;
- g) alternance inverse;
- h) alternance directe;
- i) durée de rétablissement.

Informations à préciser:

- a) amplitude de crête 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.

Spécifications d'essai:

- a) les instruments d'essai sont un générateur de signaux d'impulsion et un oscilloscope numérique;
- b) mesurer les enroulements spécifiés et ouvrir tous les autres enroulements;
- c) l'impulsion de tension appliquée doit chuter de moins de 2 %;
- d) l'amplitude de la tension de choc appliquée ne doit pas dépasser la valeur de l'essai diélectrique de tenue en tension;
- e) raccorder conformément à la Figure 24, régler le signal d'impulsion et observer l'oscilloscope.



R_1 est la résistance de limitation de courant,

R_2 est la résistance de shuntage, et

R_L est la charge.

R_1 , R_2 et R_L sont des résistances non inductives.

Figure 24 – Circuit de mesure de la forme d'onde de l'impulsion

4.4.13 Produit tension-temps caractéristique

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

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

Procédure: Lorsque la température d'essai spécifiée diffère de la température ambiante, le composant doit être chauffé dans une étuve jusqu'à obtention de l'équilibre thermique à la température spécifiée.

Si les applications du transformateur nécessitent un courant continu dans l'un de ses enroulements, l'essai doit être réalisé avec des ampères-tours continus assignés, 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 doit alors être appliquée à l'enroulement spécifié pendant une durée d'impulsion de t_d et le courant de magnétisation correspondant doit être contrôlé. Un exemple de circuit d'essai adéquat est représenté à la Figure 24 (voir également l'Annexe M de l'IEC 60367-1:1982).

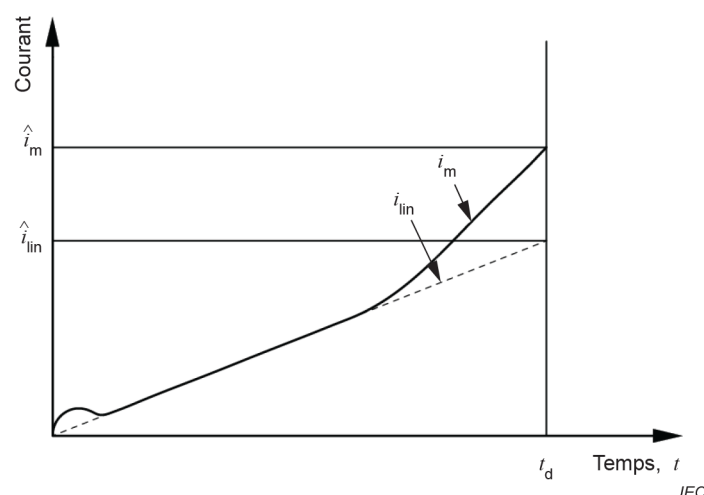
Exigence: Le courant de magnétisation ne doit pas dépasser un pourcentage spécifié de la portion linéaire extrapolée de la forme d'onde du courant à l'instant t_d . Autrement dit, la non-linéarité du courant de magnétisation ne doit pas excéder une valeur spécifiée (voir Figure 25).

Informations à préciser:

- température d'essai;
- amplitude de l'impulsion, U_m (en volts) ⁵;
- durée de l'impulsion, t_d (en s) ⁶;
- valeur i_{dc} exigée, la valeur du courant continu superposé, sa polarité et les bornes entre lesquelles le courant continu doit circuler;
- non-linéarité maximale admise pour le courant de magnétisation.

⁵ Selon le produit tension-temps caractéristique prévu du composant.

⁶ Selon le produit tension-temps caractéristique prévu du composant.



$$\xi_L = \frac{i_m}{i_{lin}} \cdot 100; \quad \xi_{Lmax} = \frac{i_m}{i_{lin}} \cdot 100$$

Figure 25 – Non-linéarité du courant de magnétisation

Plusieurs impulsions peuvent être nécessaires pour obtenir l'état de magnétisation exigé pour le transformateur. Il convient d'éviter l'autoéchauffement du noyau et de l'enroulement.

4.4.14 Distorsion harmonique totale

Objet: Vérifier que la distorsion harmonique produite par le composant quand il est associé à son impédance de source et à son impédance de charge déterminées n'excède pas les limites spécifiées.

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

- soit l'emploi d'un équipement de mesure qui donne une indication directe de la distorsion harmonique totale;
- soit la mesure de tous les harmoniques de tension significatifs jusqu'au septième compris, suivie du calcul de la distorsion harmonique totale par l'application de la formule suivante:

$$\left(\sum_2^7 U_{fn}^2 \right)^{1/2} \times \frac{100}{U_{f1}} \%$$

où

f_1 est la fréquence fondamentale de la source;

f_n est la fréquence du n^e harmonique de la source;

U_{fn} est la tension à chacune des fréquences harmoniques particulières;

U_{f1} est la tension à la fréquence fondamentale.

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

Informations à préciser:

- impédance de source;

- b) impédance de charge;
- c) fréquence de la source;
- d) tension de sortie à la fréquence de la source;
- e) courant de polarisation (le cas échéant).

4.4.15 Régulation de tension

Objet: Etablir l'étendue des variations de tension d'un ou de plusieurs enroulements spécifiés entre les conditions de fonctionnement à vide et celles où les enroulements de sortie transportent simultanément le courant de pleine charge.

Procédure: Les enroulements d'entrée spécifiés doivent être alimentés à la tension et à la fréquence assignées; la tension aux bornes de chaque enroulement doit être mesurée quand tous les enroulements de sortie sont en circuit ouvert. La charge spécifiée doit être appliquée pendant la période spécifiée ou, en l'absence de précision, jusqu'à obtention de la stabilité thermique. La tension aux bornes de chaque enroulement doit être mesurée pendant que les enroulements de sortie transportent leurs courants de charge spécifiés. Le pourcentage de régulation de tension 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 aux bornes de l'enroulement avec charge.

La régulation de tension doit se situer dans les limites spécifiées pendant et à la fin de l'essai. La représentation schématique est donnée à la

Figure 26.

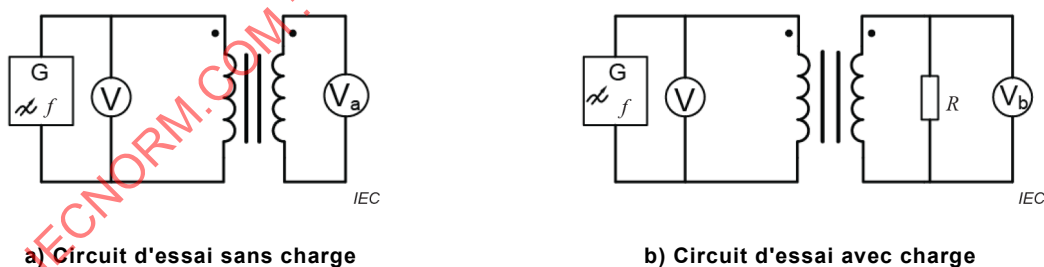


Figure 26 – Schéma d'essai de régulation de tension

Informations à préciser:

- a) conditions d'alimentation (tension et fréquence);
- b) conditions de charge des enroulements de sortie;
- c) durée de l'essai;
- d) détails du cycle de service, s'il est autre que continu;
- e) conditions atmosphériques, si différentes des conditions normales;
- f) détails du montage, si une surface non thermiquement conductrice n'est pas utilisée;
- g) limites de la régulation de tension pendant et à la fin de l'essai.

4.4.16 Echauffement

NOTE Les essais suivants sont destinés à prouver l'aptitude à la fonction des composants produits en série. Un thermocouple (voir 4.4.17) peut être utilisé, si nécessaire, comme méthode alternative pour les composants en développement.

4.4.16.1 Méthode qui utilise la variation de la résistance en courant continu d'un enroulement

Objet: Déterminer l'échauffement moyen d'un composant quand il est soumis à un cycle de service continu dans un environnement spécifié.

Procédure: Le composant à l'essai doit être alimenté et chargé comme indiqué dans la spécification particulière. La résistance en courant continu des enroulements spécifiés doit être déterminée comme indiqué en 4.4.1.1.

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

L'échauffement des enroulements doit être calculé à l'aide de 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'échauffement 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 du conducteur d'enroulement. Pour les besoins du présent document, la valeur pour le cuivre doit être prise égale à 234,5 et pour l'aluminium à 228,1. La valeur de k est indiquée en 4.4.1.1.

Informations à préciser:

- a) informations exigées par a) et b) du 4.4.1.1;
- b) pour les matériaux conducteurs autres que le cuivre et l'aluminium, valeur appropriée de la constante k ;
- c) détail du montage;
- d) environnement;
- e) conditions d'alimentation appropriées:
 - 1) tension et fréquence;
 - 2) durée de l'impulsion et fréquence de répétition;
 - 3) courant de polarisation, tension et fréquence d'ondulation;
- f) charge(s) en sortie.

NOTE Dans certains cas, la spécification de la charge adaptée peut nécessiter des informations plus complètes, telles que des schémas du circuit et des valeurs associées au composant.

4.4.16.2 Méthode qui utilise des enroulements bifilaires additionnels en série et en opposition

Objet:

- a) mesurer l'échauffement sans interruption de l'alimentation;
- b) mesurer le taux d'échauffement.

Procédure: 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 indiqué en 4.4.1.1, et l'échauffement doit être déterminé comme indiqué en 4.4.16.1.

NOTE 1 Cette méthode peut être utilisée quand il existe un noyau libre accessible ou une surface d'enroulement sur laquelle un enroulement bifilaire convenable peut être placé.

NOTE 2 L'application d'une isolation thermique sur l'enroulement bifilaire peut permettre l'estimation de la température interne du composant.

NOTE 3 Cette méthode peut être utilisée pour l'évaluation de prototypes en introduisant un enroulement bifilaire entre les enroulements de fonctionnement du composant.

Si la résistance observée varie selon que le composant à l'essai est alimenté ou non, il convient d'utiliser la valeur qui correspond à l'absence de puissance. La différence est due aux effets de courants de Foucault.

Informations à préciser:

- a) détails de l'enroulement bifilaire additionnel, incluant sa position;
- b) détails de l'isolation thermique, si elle est exigée;
- c) autres informations, comme en 4.4.16.1.

4.4.17 Température de surface

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

Procédure: Les conditions d'essai et les procédures indiquées en 4.4.16.1 doivent être appliquées jusqu'à obtention de l'équilibre thermique, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'aucune variation de la puissance d'entrée n'excède 2 % pendant une période continue de 15 min.

La température de surface doit alors être mesurée à l'aide d'un thermocouple de faible conductivité thermique et de faible masse en un point spécifié de la surface du composant.

La température de surface doit être enregistrée.

NOTE 1 La température maximale de surface peut être déterminée par balayage de la surface du composant.

NOTE 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 – Danger de choc électrique. Des précautions doivent être prises pour isoler électriquement et physiquement l'opérateur du thermocouple des parties actives ou conductrices du composant à l'essai.

Informations à préciser:

- a) informations exigées par les points c), d), e) et f) du 4.4.16.1;
- b) température maximale de surface;
- c) emplacements de mesure spécifiques.

4.4.18 Polarité

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

Procédure 1: Les enroulements dont les phases relatives doivent être examinées sont connectés en série. Une alimentation de tension et de fréquence appropriées est connectée à l'un des enroulements d'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) indiquées à la Figure 27, la relation suivante est vraie:

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_1 + \dot{U}_2$$

Pour des enroulements avec des polarités en opposition:

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_1 - \dot{U}_2$$

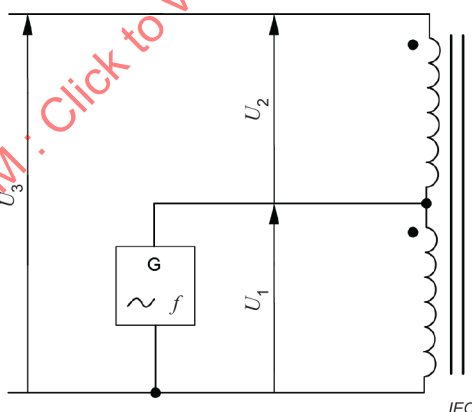


Figure 27 – Vérification des phases (polarités) par mesure des tensions

Informations à préciser:

- a) extrémités qui doivent être connectées ensemble;
- b) extrémités entre lesquelles la phase doit être déterminée.

Procédure 2: En utilisant le circuit en pont et les procédures associées de la Procédure 2 donnée en 4.4.7.3, vérifier la phase relative des enroulements à soumettre à l'essai.

NOTE 1 Une polarité incorrecte de AB par rapport à BC se traduit soit par un équilibre à une valeur de P:Q différente de celle spécifiée, soit par l'impossibilité d'atteindre un équilibre (voir Figure 14).

NOTE 2 Cette procédure peut ne pas être utilisable pour certains composants polyphasés.

Informations à préciser:

- a) branchement des enroulements qui donne la polarité correcte de l'enroulement AB par rapport à l'enroulement BC;
- b) limites du rapport de transformation de la tension;
- c) fréquence et tension d'essai;
- d) si exigé, valeurs approximatives de R_1 et R_2 .

Procédure 3: Les enroulements dont les phases relatives doivent être examinées sont connectés en série, comme spécifié, et l'inductance de l'ensemble est mesurée sur un pont adéquat (voir 4.4.4.1).

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

Ainsi, le cas le plus simple est celui de deux enroulements dont les inductances sont respectivement L_1 et L_2 .

Pour des enroulements à connexion directe, comme le montre la Figure 28(a):

$$L_1 + L_2 + 2 k \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

Pour des enroulements à connexion inverse, comme le montre la Figure 28(b):

$$L_1 + L_2 - 2 k \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

k étant le coefficient de couplage, et le signe positif étant associé à une mise en série additive des enroulements.

L'inversion de la connexion d'un seul enroulement produit ainsi une variation égale à $4k\sqrt{L_1 \cdot L_2}$.

NOTE 3 Cette méthode n'est pas applicable quand les inductances des enroulements prises individuellement sont trop différentes, ou si le coefficient de couplage entre les enroulements d'essai est faible.

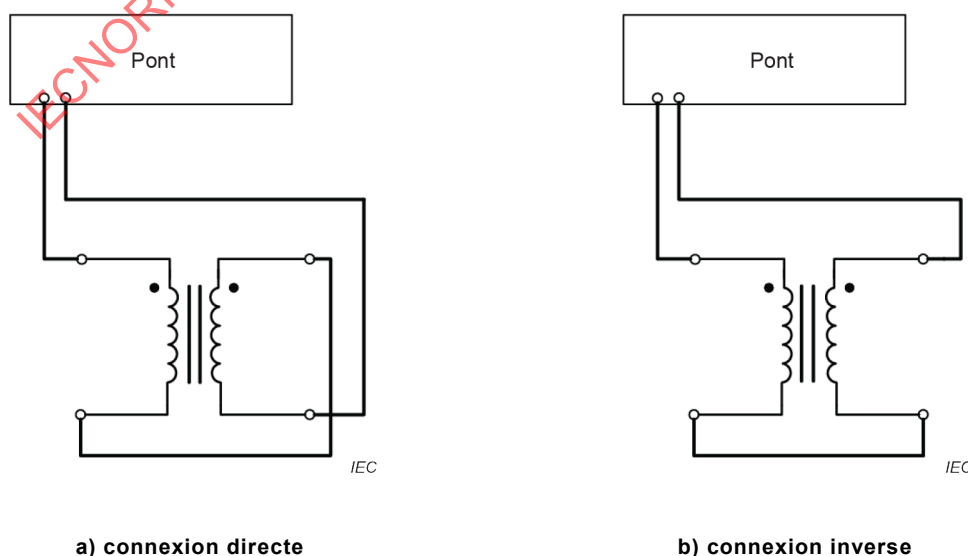


Figure 28 – Méthode de connexion en série

Informations à préciser:

- a) extrémités qui doivent être connectées ensemble;
- b) extrémités entre lesquelles la phase doit être déterminée;
- c) fréquence et tension d'essai.

Procédure 4: Une extrémité de chaque enroulement doit être connectée au point commun d'un oscilloscope à deux canaux. Une alimentation de tension et de fréquence appropriées doit être connectée à l'entrée Y_1 de l'oscilloscope et à l'extrémité libre d'un enroulement. Chacune des autres extrémités libres ou prises doit être connectée à son tour à l'entrée Y_2 et les formes d'ondes doivent être examinées pour établir leurs relations de phase.

Informations à préciser:

- a) extrémités qui doivent être connectées ensemble;
- b) extrémités entre lesquelles la phase doit être déterminée.

4.4.19 Ecrans

NOTE Cette note ne s'applique qu'à la version anglaise.

4.4.19.1 Essai de capacité pour écrans

Objet: Vérifier l'efficacité électrostatique (blindage) de chaque écran.

Procédure: Les enroulements placés de chaque côté de l'écran doivent être court-circuités et connectés ensemble. Si l'écran est isolé, il doit être connecté au noyau (ou au boîtier si le noyau n'est pas accessible) pour l'essai, sauf spécification contraire (voir Annexe F).

La mesure de la capacité directe des enroulements situés d'un côté de l'écran par rapport aux enroulements placés de l'autre côté doit être effectuée suivant la Procédure 2 donnée en 4.4.6.2. Des précautions doivent être prises pour éviter l'effet de capacité parasite extérieure. Les résultats doivent être comparés à ceux obtenus avec l'écran déconnecté.

Informations à préciser:

- a) branchement des enroulements;
- b) raccordement de l'écran, si autre qu'au noyau ou au boîtier;
- c) rapport des capacités: écran connecté à écran déconnecté.

4.4.19.2 Ecrans de protection

NOTE Parfois, le terme "écran d'isolation" est utilisé à la place d'"écran de protection".

Objet: Vérifier l'existence et la qualité de la construction de chaque écran de protection.

Procédure: Le composant doit être examiné visuellement par démontage pour vérifier l'existence de tout écran de protection et la qualité de sa construction, en tenant compte du matériau et de l'épaisseur de l'écran, de sa largeur par rapport à la largeur de l'enroulement et de sa position relative, de la section du fil qui raccorde l'écran à la borne de sortie et de la qualité de sa soudure sur l'écran.

Si nécessaire, cet essai destructif doit être remplacé par un contrôle visuel à l'étape de fabrication, quand l'écran et les connexions sont visibles.

Un contrôle final des composants complets doit être réalisé au moyen des essais de capacité et des essais diélectriques d'isolement (voir 4.4.19.1 et 4.4.2).

Informations à préciser:

- a) si cet essai doit être effectué en cours de fabrication du composant ou en tant qu'essai destructif sur le composant fini;
- b) matériau et épaisseur de l'écran;
- c) largeur de l'écran;
- d) section et matériau du fil de raccordement de l'écran à la sortie et méthode de connexion;
- e) dimensions et matériau de la sortie.

4.4.20 Bruit

4.4.20.1 Bruit acoustique

Objet: Déterminer le niveau du bruit audible émis dans l'environnement par le composant dans des conditions spécifiées.

Procédure: Dans la mesure du possible, le composant à soumettre à l'essai doit être fixé (boulonné, soudé, etc.) sur le châssis ou un autre support mécanique sur lequel il doit être monté en permanence pendant son fonctionnement. Le composant doit alors être placé dans une enceinte exempte de toute surface réfléchissant le bruit, à l'exception du châssis ou du support mécanique comportant le composant monté. Le niveau du bruit de fond (voir 3.8) dans l'enceinte doit être d'au moins 4 dB(A) et de préférence de 9 dB(A) inférieur au niveau de son combiné du composant et du bruit de fond de l'enceinte.

Le niveau du bruit de fond doit être pris comme la moyenne des mesures obtenues immédiatement avant et immédiatement après l'essai du composant dans chaque position spécifiée.

Si le niveau du bruit de fond est tel que la différence en dB(A) entre la moyenne du niveau de son combiné du composant et du bruit de fond et la moyenne du bruit de fond est inférieure à 10 dB(A), mais d'au moins 4 dB(A), les corrections indiquées dans le Tableau 3 doivent être appliquées. Si cette différence est inférieure à 4 dB(A), l'essai ne doit pas être accepté et des efforts doivent être réalisés pour abaisser le niveau du bruit de fond.

Tableau 3 – Corrections du niveau de son pour les essais de bruit audible

Différence en dB(A) entre la moyenne du niveau de son combiné du composant et du bruit de fond et la moyenne du bruit de fond seul	Corrections en dB(A) à soustraire de la moyenne du niveau de son combiné du composant et du bruit de fond pour obtenir le niveau de son du composant
4	2,2
5	1,7
6	1,3
7	1,0
8	0,8
9	0,6
10	0,4
Supérieure à 10	0,0

Le composant ne doit pas être chargé et doit être excité à ses fréquence et tension assignées par une source de forme d'onde spécifiée connectée aux bornes spécifiées.