

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60076-3

Deuxième édition
Second edition
2000-03

Transformateurs de puissance –

**Partie 3:
Niveaux d'isolement, essais diélectriques
et distances d'isolement dans l'air**

Power transformers –

**Part 3:
Insulation levels, dielectric tests and
external clearances in air**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60076-3:2000

Numéros des publications

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

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI***
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electro-technique International (VEI)*.

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

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

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60076-3

Deuxième édition
Second edition
2000-03

Transformateurs de puissance –

**Partie 3:
Niveaux d'isolement, essais diélectriques
et distances d'isolement dans l'air**

Power transformers –

**Part 3:
Insulation levels, dielectric tests and
external clearances in air**

© IEC 2000 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XA**

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	10
Articles	
1 Domaine d'application	12
2 Références normatives.....	12
3 Définitions.....	14
4 Généralités	14
5 Tension la plus élevée pour le matériel et niveau d'isolement	16
6 Règles pour certains types particuliers de transformateurs	20
7 Prescriptions pour l'isolement et les essais diélectriques – Règles de base.....	22
7.1 Généralités	22
7.2 Exigences concernant l'isolement.....	24
7.3 Essais diélectriques	28
7.4 Exigences d'isolement et d'essais pour la borne neutre d'un enroulement.....	32
8 Essais sur un transformateur comportant un enroulement à prises.....	34
9 Renouvellement des essais diélectriques.....	36
10 Isolement des circuits auxiliaires	36
11 Essai par tension appliquée à fréquence industrielle par source séparée	36
12 Essai par tension induite en FI (FI CD, FI LD).....	38
12.1 Généralités	38
12.2 Essai de tenue par tension induite en FI de courte durée (FI CD) pour transformateurs avec enroulements haute tension à isolation uniforme	38
12.3 Essai de tenue de tension induite en FI de courte durée phase-terre (FI CD) avec enroulements haute tension à isolation non uniforme.....	44
12.4 Essai de tension induite en FI de longue durée avec enroulement haute tension à isolation non uniforme et/ou à isolation uniforme (FI LD), conformément au tableau 1 ..	48
13 Essai au choc de foudre (CF)	54
13.1 Généralités	54
13.2 Séquence d'essai.....	56
13.3 Connexions d'essais	56
13.4 Enregistrements de l'essai	60
13.5 Sanction de l'essai	60
14 Essai au choc de foudre coupé sur la queue (CFC)	60
14.1 Généralités	60
14.2 Eclateur de coupure et caractéristiques de la coupure	62
14.3 Conduite et sanction de l'essai	62

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
INTRODUCTION	11
Clause	
1 Scope	13
2 Normative references	13
3 Definitions	15
4 General	15
5 Highest voltage for equipment and insulation level	17
6 Rules for some particular transformers	21
7 Insulation requirements and dielectric tests – Basic rules	23
7.1 General	23
7.2 Insulation requirements	25
7.3 Dielectric tests	29
7.4 Insulation requirements and tests for the neutral terminal of a winding	33
8 Tests on a transformer having a tapped winding	35
9 Repeated dielectric tests	37
10 Insulation of auxiliary wiring	37
11 Separate source AC withstand voltage test	37
12 Induced AC voltage tests (ACSD, ACLD)	39
12.1 General	39
12.2 Short-duration induced AC withstand voltage test (ACSD) for transformers with uniformly insulated high-voltage windings	39
12.3 Short-duration AC withstand voltage test (ACSD) for transformers with non-uniformly insulated high-voltage windings	45
12.4 Long-duration induced AC voltage test (ACLD) with non-uniformly and/or uniformly insulated high-voltage windings, according to table 1	49
13 Lightning impulse (LI) test	55
13.1 General	55
13.2 Test sequence	57
13.3 Test connections	57
13.4 Records of test	61
13.5 Test criteria	61
14 Test with lightning impulse chopped on the tail (LIC)	61
14.1 General	61
14.2 Chopping gap and characteristics of the chopping	63
14.3 Test sequence and test criteria	63

Articles	Pages
15 Essai au choc de manœuvre (CM).....	62
15.1 Généralités	62
15.2 Séquence d'essais et enregistrements	64
15.3 Connexions d'essai	64
15.4 Sanction de l'essai	66
16 Distances d'isolement dans l'air.....	66
16.1 Généralités	66
16.2 Distances d'isolement dans l'air des traversées spécifiées à partir des tensions de tenue de l'isolement du transformateur	68
Annexe A (informative) Guide d'application pour la mesure des décharges partielles sur un transformateur lors d'un essai par tension induite suivant 12.2, 12.3 et 12.4	84
Annexe B (informative) Surtension transmise de l'enroulement haute tension à un enroulement basse tension	98
Annexe C (informative) Renseignements concernant l'isolement du transformateur et les essais diélectriques à fournir avec un appel d'offre et avec une commande	102
Annexe D (normative) FI CD.....	104

Clause	Page
15 Switching impulse test (SI)	63
15.1 General.....	63
15.2 Test sequence and records	65
15.3 Test connections.....	65
15.4 Test criteria.....	67
16 External clearances in air	67
16.1 General.....	67
16.2 Bushing clearance requirements as determined by transformer insulation withstand voltages.....	69
Annex A (Informative) Application guide for partial discharge measurements during induced a.c. withstand voltage test on transformers according to 12.2, 12.3 and 12.4.....	85
Annex B (informative) Overvoltage transferred from the high-voltage winding to a low-voltage winding.....	99
Annex C (informative) Information on transformer insulation and dielectric tests to be supplied with an enquiry and with an order	103
Annex D (normative) ACSD	105

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE – Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60076-3 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1980, l'amendement 1 (1981) et la CEI 60076-3-1 (1987).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/347/FDIS	14/355/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –**Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60076-3 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1980, amendment 1 (1981) and IEC 60076-3-1 (1987).

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
14/347/FDIS	14/355/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Les annexes A, B et C sont données uniquement à titre d'information.

L'annexe D fait partie intégrante de cette norme.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2008. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Le contenu du corrigendum de décembre 2000 a été pris en considération dans cet exemplaire.

Annexes A, B and C are for information only.

Annex D forms an integral part of this standard.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2008. At this date, the publication will be

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

The contents of the corrigendum of December 2000 have been included in this copy.

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 60076 prescrit les exigences d'isolement et d'essais diélectriques correspondants en faisant référence aux enroulements spécifiques et à leurs bornes. Elle recommande aussi les distances d'isolement dans l'air, entre parties sous tension des traversées des transformateurs de puissance immergés dans l'huile, et par rapport aux objets au potentiel de la terre (article 16). On trouve des indications dans la CEI 60071.

Les niveaux d'isolement et les essais diélectriques qui sont spécifiés dans les articles 4, 5, 6 et 7 de la présente norme s'appliquent seulement à l'isolation interne. Il est raisonnable que les valeurs de tension de tenue assignées prescrites pour l'isolation interne du transformateur soient aussi choisies comme référence pour son isolation externe, mais ceci peut ne pas être vrai dans tous les cas. Un défaut de l'isolation interne non autorégénératrice est catastrophique et conduit normalement à une mise hors service du transformateur pour une longue période, tandis qu'un claquage externe peut entraîner seulement une courte interruption de service sans causer de dommage durable. Voilà pourquoi il se peut que pour accroître la sûreté de fonctionnement, des tensions de tenue plus élevées soient spécifiées par l'acheteur pour l'isolation interne, sans que cela le soit pour l'isolation externe des autres composants du réseau. Quand une telle précaution est prise, il faut que les distances d'isolement extérieures soient ajustées en conséquence, pour satisfaire pleinement aux prescriptions d'essai de l'isolation interne.

INTRODUCTION

This part of IEC 60076 specifies the insulation requirements and the corresponding insulation tests with reference to specific windings and their terminals. It also recommends clearances in air between live parts of bushings on oil-immersed power transformers and to objects at earth potential (clause 16). Guidance can be obtained from IEC 60071.

The insulation levels and dielectric tests which are specified in clauses 4, 5, 6 and 7 in this standard apply to the internal insulation only. Whilst it is reasonable that the rated withstand voltage values which are specified for the internal insulation of the transformer should also be taken as a reference for its external insulation, this may not be true in all cases. A failure of the non-self-restoring internal insulation is catastrophic and normally leads to the transformer being out of service for a long period, while an external flashover may involve only a short interruption of service without causing lasting damage. Therefore, it may be that, for increased safety, higher test voltages are specified by the purchaser for the internal insulation of the transformer than for the external insulation of other components in the system. When such a distinction is made, the external clearances must be adjusted to fully cover the internal insulation test requirements.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux transformateurs de puissance immergés dans l'huile triphasés et monophasés (comprenant les autotransformateurs), à l'exception de certaines catégories de petits transformateurs et de transformateurs spéciaux telles que définies par le domaine d'application de la CEI 60076-1. La présente norme identifie les enroulements des transformateurs suivant leur tension la plus élevée pour le matériel U_m associée à leurs niveaux d'isolement assignés correspondants et présente en détail les essais diélectriques appropriés applicables et les distances minimales d'isolement dans l'air entre parties sous tension des traversées et les objets au potentiel de la terre.

Pour les catégories de transformateurs de puissance et de bobines d'inductance qui disposent d'une norme CEI qui leur est propre, la présente norme est applicable uniquement dans la mesure où il y est fait explicitement référence dans l'autre norme.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60076. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60076 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60050(421), *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 421: Transformateurs de puissance et bobines d'inductance*

CEI 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60060-2, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

CEI 60071-1:1993, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

CEI 60071-2:1976, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

CEI 60076-1, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*

CEI 60137:1995, *Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1 000 V*

CEI 60270, *Mesure des décharges partielles*

CEI 60722, *Guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manœuvre des transformateurs de puissance et bobines d'inductance*

POWER TRANSFORMERS –

Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air

1 Scope

This International Standard applies to single-phase and three-phase oil-immersed power transformers (including auto-transformers), with the exception of certain small and special transformers, as defined in the scope of IEC 60076-1. It identifies transformer windings to their highest voltage for equipment U_m associated with their corresponding rated insulation levels and details the relevant applicable dielectric tests and minimum external clearances in air between live parts of bushings and to objects at earth potential.

For categories of power transformers and reactors which have their own IEC standards, this standard is applicable only to the extent in which it is specifically called up by cross reference in the other standards.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60076. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 60076 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60050(421), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 421: Power transformers and reactors*

IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60060-2, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

IEC 60071-1:1993, *Insulation coordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2:1976, *Insulation coordination – Part 2: Application guide*

IEC 60076-1, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60137:1995, *Bushings for alternating voltages above 1 000 V*

IEC 60270, *Partial discharge measurements*

IEC 60722, *Guide to the lightning impulse and switching impulse testing of power transformers and reactors*

CEI 60790, *Oscillographes et voltmètres de crête pour essais de choc*

CEI 61083-1, *Enregistreurs numériques pour les mesures pendant les essais de choc à haute tension – Partie 1: Prescriptions pour des enregistreurs numériques*

CEI 61083-2, *Enregistreurs numériques pour les mesures pendant les essais de choc à haute tension – Partie 2: Evaluation du logiciel utilisé pour obtenir les paramètres des formes à onde de choc*

CISPR 16-1:1993, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 60076, les définitions suivantes s'appliquent. Les autres termes employés ont la signification qui leur est attribuée dans la CEI 60076-1 ou dans la CEI 60050(421).

3.1

tension la plus élevée pour le matériel U_m applicable à un enroulement de transformateur

tension efficace la plus élevée entre phases, dans un réseau triphasé, pour laquelle est conçue l'isolation de l'enroulement du transformateur

3.2

niveau d'isolement assigné

un ensemble de tensions de tenue normalisées qui caractérisent la rigidité diélectrique de l'isolation

3.3

niveau d'isolement normalisé

un niveau d'isolement assigné dont les tensions de tenue normalisées sont associées à U_m comme recommandé dans les tableaux 2 et 3 de la CEI 60071-1

3.4

isolation uniforme d'un enroulement de transformateur

isolation d'un enroulement de transformateur dont toutes les extrémités reliées aux bornes ont le même niveau d'isolement assigné

3.5

Isolation non uniforme d'un enroulement de transformateur

isolation d'un transformateur dont l'extrémité neutre est prévue pour être connectée directement ou indirectement à la terre, et qui est conçue avec un niveau d'isolement inférieur à celui affecté à l'extrémité ligne

4 Généralités

Les prescriptions concernant l'isolement des transformateurs de puissance et les essais correspondants de l'isolation sont indiqués en référence à chaque enroulement et à ses bornes.

Pour les transformateurs immergés dans l'huile, les prescriptions s'appliquent seulement à l'isolation interne. Toutes prescriptions additionnelles ou essais concernant l'isolation externe qui sont jugés nécessaires doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur, comportant des essais de type sur un modèle approprié de la configuration.

IEC 60790, *Oscilloscopes and peak voltmeters for impulse tests*

IEC 61083-1, *Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests – Part 1: Requirements for digital recorders*

IEC 61083-2, *Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests – Part 2: Evaluation of software used for the determination of the parameters of impulse waveforms*

CISPR 16-1:1993, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus*

3 Definitions

For the purpose of this part of IEC 60076, the following definitions apply. Other terms used have the meanings ascribed to them in IEC 60076-1 or in IEC 60050(421).

3.1

highest voltage for equipment U_m applicable to a transformer winding

the highest r.m.s. phase-to-phase voltage in a three-phase system for which a transformer winding is designed in respect of its insulation

3.2

rated insulation level

a set of standard withstand voltages which characterize the dielectric strength of the insulation

3.3

standard insulation level

a rated insulation level, the standard withstand voltages of which are associated to U_m as recommended in tables 2 and 3 of IEC 60071-1

3.4

uniform insulation of a transformer winding

the insulation of a transformer winding when all its ends connected to terminals have the same rated insulation level

3.5

non-uniform insulation of a transformer winding

the insulation of a transformer winding when it has a neutral terminal end for direct or indirect connection to earth, and is designed with a lower insulation level than assigned for the line terminal

4 General

The insulation requirements for power transformers and the corresponding insulation tests are given with reference to specific windings and their terminals.

For oil-immersed transformers, the requirements apply to the internal insulation only. Any additional requirements or tests regarding external insulation which are deemed necessary shall be subject to agreement between supplier and purchaser, including type tests on a suitable model of the configuration.

Si l'acheteur a l'intention de réaliser le branchement du transformateur d'une manière qui peut réduire les distances d'isolement dans l'air du transformateur seul, il convient que cela soit indiqué dans l'appel d'offre.

Lorsqu'un transformateur immergé dans l'huile est spécifié pour être mis en service à une altitude supérieure à 1 000 m, les distances d'isolement dans l'air doivent être conçues en conséquence. Il peut être alors nécessaire de choisir des traversées conçues pour des niveaux d'isolement plus élevés que ceux spécifiés pour l'isolation interne des enroulements du transformateur, voir article 16 de cette norme et 4.2 de la CEI 60137.

Les traversées sont soumises à des essais de type et à des essais individuels selon la CEI 60137, qui sont destinés à vérifier leur isolation phase-terre, tant externe qu'interne.

Il est préalablement admis que les traversées et les changeurs de prises en charge sont spécifiés, conçus et essayés conformément aux normes CEI qui leur sont applicables. Les essais d'isolement sur le transformateur complet, constituent cependant une vérification que le choix et l'installation de ces composants sont corrects.

Les essais d'isolement doivent généralement être effectués dans les ateliers du fournisseur avec le transformateur approximativement à température ambiante, mais au moins à 10 °C.

Les transformateurs doivent être complètement équipés comme dans les conditions de service avec les équipements de supervision. Cependant, il n'est pas nécessaire de monter les éléments qui n'ont aucune influence sur la rigidité diélectrique de l'isolation interne, comme par exemple l'équipement externe de réfrigération.

Si un transformateur ne satisfait pas à ces exigences d'essais et si le défaut est situé dans une traversée, il est admis de remplacer temporairement la traversée défectueuse par une autre traversée similaire et de poursuivre, sans retard, les essais sur le transformateur jusqu'à leur terme. Un cas particulier est celui des essais avec mesure des décharges partielles, qui, pour certains types de traversées à haute tension communément utilisées, peuvent créer des difficultés à cause du niveau relativement élevé des décharges partielles qui se reproduisent dans leur milieu diélectrique. Lorsque de telles traversées sont prescrites par l'acheteur, il est permis de les remplacer par des traversées d'un type exempt de décharges partielles pendant les essais du transformateur (voir annexe A).

Il convient de concevoir les transformateurs raccordés par boîtes à câbles ou par connexion directe à des installations blindées SF₆ de telle sorte que des connexions temporaires puissent être utilisées pour les essais d'isolation. Sous réserve d'un accord, les traversées huile/SF₆ peuvent, pour cette raison, être remplacées par des traversées huile/air appropriées.

Lorsque le fournisseur a l'intention d'utiliser des éléments non linéaires ou des parafoudres disposés intérieurement ou extérieurement – en vue de limiter les surtensions transitoires transmises – cela doit être porté à la connaissance de l'acheteur au moment de l'appel d'offre et de la commande, et il est recommandé que cela soit indiqué sur le schéma de couplage de la plaque signalétique du transformateur.

5 Tension la plus élevée pour le matériel et niveau d'isolement

A chaque enroulement d'un transformateur, pour le côté ligne et le côté neutre, une valeur de la tension la plus élevée pour le matériel U_m est attribuée, voir 3.1.

Les règles de coordination de l'isolement du transformateur au regard des surtensions transitoires sont formulées différemment en fonction de la valeur de U_m .

If the purchaser intends to make the connections to the transformer in a way which may reduce the clearances provided by the transformer alone, this should be indicated in the enquiry.

When an oil-immersed transformer is specified for operation at an altitude higher than 1 000 m, clearances shall be designed accordingly. It may then be necessary to select bushings designed for higher insulation levels than those specified for the internal insulation of the transformer windings, see clause 16 of this standard and 4.2 of IEC 60137.

Bushings are subject to separate type and routine tests according to IEC 60137, which verify their phase-to-earth insulation, external as well as internal.

It is presupposed that bushings and tap-changers are specified, designed and tested in accordance with relevant IEC standards. The insulation tests on the complete transformer, however, constitute a check on the correct application and installation of these components.

The insulation test shall generally be made at the supplier's works with the transformer approximately at ambient temperature, but at least at 10 °C.

The transformer shall be completely assembled as in service including supervisory equipment. It is not necessary, however, to fit elements which do not influence the dielectric strength of the internal insulation, for example, the external cooling equipment.

If a transformer fails to meet its test requirements and the fault is in a bushing, it is permissible to replace this bushing temporarily with another bushing and continue the test on the transformer to completion without delay. A particular case arises for tests with partial discharge measurements, where certain types of commonly used high-voltage bushings create difficulties because of their relatively high level of partial discharge in the dielectric. When such bushings are specified by the purchaser, it is permitted to exchange them for bushings of a partial discharge free type during the testing of the transformer, see annex A.

Transformers for cable box connection or direct connection to metal-enclosed SF₆ installations should be designed so that temporary connections can be made for insulation tests, using temporary bushings, if necessary. By agreement, oil/SF₆ bushings may for that reason be replaced by appropriate oil/air bushings.

When the supplier intends to use non-linear elements or surge arresters, built into the transformer or externally fitted, for the limitation of transferred overvoltage transients, this shall be brought to the purchaser's attention at the tender and order stage and it is recommended that it be indicated on the transformer rating plate circuit diagram.

5 Highest voltage for equipment and insulation level

To each winding of a transformer, both for the line and neutral side, is assigned a value of highest voltage for equipment U_m , see 3.1.

The rules for coordination of transformer insulation with respect to transient overvoltages are formulated differently depending on the value of U_m .

Lorsque les règles concernant les essais pour les différents enroulements d'un transformateur sont en contradiction, les règles relatives à l'enroulement disposant de la valeur de U_m la plus élevée doivent s'appliquer pour tout le transformateur.

Les règles relatives à un certain nombre de cas particuliers sont données à l'article 6.

Les valeurs normalisées de U_m sont indiquées dans les tableaux 2 à 4. La valeur à utiliser pour un enroulement de transformateur est celle qui est égale, ou immédiatement supérieure, à la valeur assignée de l'enroulement.

NOTE 1 Les transformateurs monophasés destinés au couplage étoile pour former un banc triphasé sont conçus pour leur tension assignée phase-terre, par exemple $400/\sqrt{3}$ kV. La valeur de la tension entre phases déterminera le choix de U_m dans ce cas, en conséquence $U_m = 420$ kV.

NOTE 2 Il peut arriver que certaines tensions de prise soient choisies légèrement supérieures à une valeur normalisée de U_m mais que le réseau auquel l'enroulement sera connecté a une tension la plus élevée qui reste au voisinage de la valeur normalisée. Il faut coordonner les prescriptions d'isolement avec les conditions réelles, et il convient, en conséquence, d'accepter cette valeur normalisée comme valeur de U_m pour le transformateur et non pas la valeur immédiatement supérieure.

NOTE 3 Pour certaines applications avec des conditions très spéciales, la spécification d'autres combinaisons de tensions de tenue peut être justifiée. Pour de tels cas, il convient de suivre les indications de la CEI 60071-1.

NOTE 4 Dans certaines applications, les enroulements à couplage triangle sont mis à la terre sur une de leurs traversées extérieures. Dans ces applications, une tension de tenue plus élevée respectant la tension la plus élevée pour le matériel U_m peut être requise pour cet enroulement, et il convient qu'elle fasse l'objet d'un accord entre fournisseur et acheteur.

La tension la plus élevée pour le matériel U_m et ses tensions de tenue assignées, soit leur niveau d'isolement, déterminent les caractéristiques diélectriques du transformateur. Elles sont vérifiées par un ensemble d'essais diélectriques fonction de U_m , voir article 7.

Les valeurs de U_m et les niveaux d'isolement qui sont assignés à chaque enroulement du transformateur font partie des informations qui doivent être fournies avec un appel d'offre et avec une commande. S'il existe un enroulement à isolation non uniforme, la valeur de U_m et le niveau d'isolement pour l'extrémité neutre doivent aussi être spécifiés par l'acheteur, voir 7.4.3.

Les tensions de tenue assignées pour tous les enroulements doivent apparaître sur la plaque signalétique. Les principes des notations abrégées normalisées sont indiqués dans les exemples ci-dessous.

Les classifications et la conception de l'isolement doivent, indépendamment de la méthode d'essais, être tirées des valeurs des tableaux 2, 3 et 4 ou de la CEI 60071-1. Comme dans la plupart des cas, les essais induits en FI de longue durée sont des essais de contrôle de la qualité au regard des conditions de service, et non des essais destinés à éprouver la conception, les niveaux d'isolement doivent être caractérisés comme ci-dessous.

U_m : tension la plus élevée pour le matériel
CM/CF/FI,

ou si applicable -/CF/FI.

Les abréviations ci-dessus et dans les exemples ci-dessous ont les significations suivantes:

CM est la tension de tenue au choc de manœuvre pour les bornes de ligne de l'enroulement avec la valeur de U_m la plus élevée;

CF est la tension de tenue au choc de foudre pour les bornes de ligne et de neutre de chacun des enroulements individuels;

FI est la tension de tenue à fréquence industrielle induite de courte durée et en tension appliquée (source séparée) pour les traversées ligne et neutre de chacun des enroulements individuels;

h.t. haute tension;

b.t. basse tension;

m.t. moyenne tension.

When rules about related tests for different windings in a transformer are in conflict, the rule for the winding with the highest U_m value shall apply for the whole transformer.

Rules for a number of special classes of transformers are given in clause 6.

Standardized values of U_m are listed in tables 2 to 4. The value to be used for a transformer winding is the one equal to, or nearest above, the rated value of the winding.

NOTE 1 Single-phase transformers intended for connection in star to form a three-phase bank are designated by phase-to-earth rated voltage, for example $400/\sqrt{3}$ kV. The phase-to-phase value determines the choice of U_m in this case, consequently, $U_m = 420$ kV.

NOTE 2 It may happen that certain tapping voltages are chosen slightly higher than a standardized value of U_m , but that the system to which the winding will be connected has a system highest voltage which stays within the standard value. The insulation requirements are to be coordinated with actual conditions, and therefore this standard value should be accepted as U_m for the transformer, and not the nearest higher value.

NOTE 3 In certain applications with very special conditions the specification of other combinations of withstand voltages may be justified. In such cases, general guidance should be obtained from IEC 60071-1.

NOTE 4 In certain applications, delta-connected windings are earthed through one of the external terminals. In those applications, a higher withstand voltage with respect to the highest voltage for equipment U_m may be required for this winding and should be agreed between supplier and purchaser.

The highest voltage for equipment U_m and its assigned withstand voltages, that is, their insulation level, determine the dielectric characteristics of a transformer. They are verified by a set of dielectric tests depending on U_m , see clause 7.

The value of U_m and the insulation level which are assigned to each winding of a transformer are part of the information to be supplied with an enquiry and with an order. If there is a winding with non-uniform insulation, the assigned U_m and the insulation level of the neutral terminal shall also be specified by the purchaser, see 7.4.3.

The rated withstand voltages for all windings shall appear on the rating plate. The principles of the standard abbreviated notation are shown in some examples below.

The classifications on the insulation design shall independently of the test procedure be derived from the values in table 2, 3 and 4 or from IEC 60071-1. Since in most cases the long-duration induced AC tests are quality control tests in respect to service conditions and not design proving tests, the insulation level shall be characterized as follows:

U_m is the highest voltage for equipment
SI/LI/AC,

where applicable –/LI/AC.

The abbreviations here and in the examples below have the following meaning:

- SI is the switching impulse withstand voltage for the line terminals of the winding with the highest U_m ;
- LI is the lightning impulse withstand voltage for the line and neutral terminals of each individual winding;
- AC is the short duration induced and separate source AC withstand voltage for the line and neutral terminals of each individual winding;
- h.v. high voltage;
- l.v. low voltage;
- m.v. medium voltage.

Exemple 1:

U_m (h.t.) = 72,5 kV et U_m (b.t.) = 12 kV, tous les deux à isolation uniforme et à couplage Y (étoile)

Niveaux d'isolement: borne de ligne h.t. et borne de neutre CF/FI 325/140 kV
 borne de ligne b.t. et borne de neutre CF/FI 60/28 kV

Exemple 2:

U_m (h.t.) ligne = 245 kV, couplage Y (étoile);

U_m (h.t.) neutre = 52 kV

U_m (m.t. ligne = 72,5 kV, isolement uniforme couplage Y (étoile);

U_m (b.t.) ligne = 24 kV couplage Δ (triangle)

Niveaux d'isolement: borne de ligne h.t. CM/CF 650/850 kV
 borne neutre h.t. CF/FI 250/95 kV
 borne de ligne m.t. et neutre CF/FI 325/140 kV
 borne de ligne b.t. CF/FI 125/50 kV

Exemple 3:

Autotransformateur avec $U_m = 420$ kV et 145 kV avec $U_m = 17,5$ kV attribué pour le neutre pour connexion directe à la terre couplage Y (étoile). U_m (b.t.) borne = 24 kV à couplage Δ (triangle).

Niveaux d'isolement: borne de ligne h.t. CM/CF 1 050/1 300 kV
 borne de ligne m.t. CF/FI 550/230 kV
 borne de neutre h.t./m.t. CF/FI -/38 kV
 borne de ligne b.t. CF/FI 125/50 kV

ou si un essai induit de courte durée est imposé:

Niveaux d'isolement: borne de ligne h.t. CM/CF/FI 1 050/1 300/570 kV
 borne de ligne m.t. CF/FI 550/230 kV
 borne de neutre h.t./m.t. CF/FI -/38 kV
 borne de ligne b.t. CF/FI 125/50 kV

6 Règles pour certains types particuliers de transformateurs

Dans les transformateurs où des enroulements à isolation uniforme dont les valeurs de U_m sont différentes sont reliés ensemble à l'intérieur du transformateur (habituellement des auto-transformateurs), les tensions de l'essai de tenue par tension appliquée en FI doivent être déterminées par l'isolement du neutre commun et sa valeur U_m attribuée.

Dans les transformateurs ayant un ou plusieurs enroulements à isolation non uniforme, les tensions d'essai pour l'essai de tenue de tension induite, et pour l'essai au choc de manœuvre lorsqu'il est utilisé, sont déterminées par l'enroulement dont la valeur de U_m est la plus élevée, et il est possible que les enroulements dont les valeurs de U_m sont les plus basses ne soient pas soumis à leurs tensions d'essais appropriées. Il convient normalement d'accepter cet écart. Si le rapport de transformation est modifiable à l'aide de prises, il convient de mettre à profit cette possibilité pour porter la tension d'essai de l'enroulement à plus faible valeur de U_m à une valeur aussi proche que possible de la valeur appropriée.

Pendant les essais au choc de manœuvre, les tensions développées le long des différents enroulements sont approximativement proportionnelles au rapport des nombres des spires. Les tensions de tenue assignées au choc de manœuvre doivent seulement être attribuées à l'enroulement disposant de la plus forte valeur de U_m . Les contraintes d'essai dans les autres enroulements sont aussi proportionnelles au rapport des nombres des spires et sont ajustées par sélection de prises appropriées pour parvenir aussi près que possible de la valeur attribuée par le tableau 4. Les contraintes d'essai au choc de manœuvre dans les autres enroulements doivent être limitées à approximativement 80 % des valeurs attribuées des tensions d'essai au choc de foudre pour ces bornes.

Les enroulements série des transformateurs survolteurs-dévolteurs de réglage, des transformateurs déphaseurs, etc., dans lesquels la tension assignée de l'enroulement n'est qu'une petite fraction de la tension du réseau, doivent avoir une valeur de U_m correspondant à la tension du réseau. Il est souvent irréalisable d'essayer de tels transformateurs en stricte conformité avec la présente norme, et il convient que le fournisseur et l'acheteur se mettent d'accord sur les essais à omettre ou à modifier.

Pour les transformateurs monophasés destinés à être connectés entre phases, comme dans le cas des réseaux d'alimentation des systèmes ferroviaires de traction, des valeurs d'essais plus importantes que celles indiquées dans cette norme peuvent être nécessaires.

Des considérations spéciales au regard des connexions d'essais et du nombre des essais à réaliser sur les transformateurs embrochables/débrochables doivent faire l'objet d'un accord au moment de la commande.

7 Prescriptions pour l'isolement et les essais diélectriques – Règles de base

Les enroulements des transformateurs sont identifiés chacun par leur tension la plus élevée pour le matériel U_m associée à leurs niveaux d'isolement respectifs. Cet article traite des exigences d'isolement en rapport et des essais diélectriques applicables. Pour les catégories de transformateurs et de bobines d'inductance qui disposent de leur propre norme CEI, les exigences qui sont applicables sont celles auxquelles il est fait directement référence dans l'autre norme.

7.1 Généralités

Les règles de base qui définissent les exigences relatives à l'isolement et les essais diélectriques sont résumées dans le tableau 1.

Les niveaux des tensions de tenue normalisées, identifiées par la tension la plus élevée pour le matériel U_m d'un enroulement sont donnés dans les tableaux 2, 3 et 4. Le choix entre les différents niveaux de tensions de tenue normalisées dans ces tableaux dépend de la sévérité des conditions de surtension prévisibles dans le réseau et de l'importance de l'installation particulière. On trouve des indications dans la CEI 60071-1.

NOTE 1 Les transformateurs de distribution pour installation suburbaine ou rurale sont, dans certains pays, sévèrement exposés aux surtensions. Dans de tels cas, des tensions d'essais plus élevées, des essais de choc de foudre et d'autres essais sur des unités individuelles peuvent faire l'objet d'un accord entre fournisseur et acheteur. Il convient qu'ils soient clairement prescrits dans l'appel d'offre.

NOTE 2 D'autres combinaisons de U_m peuvent exister dans certains pays.

Les informations concernant les exigences choisies d'isolement du transformateur et d'essais diélectriques doivent être fournies avec l'appel d'offre et avec la commande, voir annexe C.

Les exigences d'isolement sont définies en 7.2. La vérification des tensions de tenue par des essais diélectriques est donnée en 7.3. Les exigences d'isolement et d'essais pour la borne de neutre d'un enroulement sont données en 7.4.

During switching impulse tests, the voltages developed across different windings are approximately proportional to the ratio of numbers of turns. Rated switching impulse withstand voltages shall only be assigned to the winding with the highest U_m . Test stresses in other windings are also proportional to the ratio of numbers of turns and are adjusted by selecting appropriate tapings to come as close as possible to the assigned value in table 4. The switching impulse test stresses in other windings shall be limited to approximately 80 % of the assigned lightning impulse withstand voltages at these terminals.

Series windings in booster regulating transformers, phase shifting transformers, etc. where the rated voltage of the winding is only a small fraction of the voltage of the system, shall have a value of U_m corresponding to the system voltage. It is often impracticable to test such transformers in formal compliance with this standard, and it should be agreed between the supplier and the purchaser as to which tests have to be omitted or modified.

For single-phase transformers intended to be connected between phases, as in the case of railway traction system supplies, higher test values than indicated in this standard may be necessary.

Special considerations with respect to test connections and number of tests to be performed on multiple re-connectable transformers shall be agreed at the time of placing the order.

7 Insulation requirements and dielectric tests – Basic rules

Transformer windings are identified by their highest voltage for equipment U_m associated to their corresponding insulation levels. This clause details the relevant insulation requirements and applicable dielectric tests. For categories of power transformers and reactors which have their own IEC standards, the requirements are applicable only to the extent in which they are specifically called up by cross reference in the other standards.

7.1 General

The basic rules for insulation requirements and dielectric tests are summarized in table 1.

Levels of standard withstand voltages, identified by the highest voltage for equipment U_m of a winding are given in tables 2, 3 and 4. The choice between the different levels of standard withstand voltages in these tables depends on the severity of overvoltage conditions to be expected in the system and on the importance of the particular installation. Guidance may be obtained from IEC 60071-1.

NOTE 1 Distribution transformers for suburban or rural installation are, in some countries, severely exposed to overvoltages. In such cases, higher test voltages, lightning impulse tests and other tests on individual units may be agreed between supplier and purchaser. They should be clearly stated in the enquiry document.

NOTE 2 Other combinations of U_m may exist in some countries.

Information about the selected transformer insulation requirements and dielectric tests shall be supplied with an enquiry and with an order, see annex C.

The insulation requirements are specified in 7.2. The verification of the withstand voltages by dielectric tests is given in 7.3. The insulation requirements and tests for the neutral terminal of a winding are given in 7.4.

Lorsque l'essai au choc de foudre comprend un essai au choc de foudre coupé sur la queue, c'est un essai spécial recommandé pour les cas où le transformateur est directement connecté à un poste blindé SF₆ par l'intermédiaire de traversées huile/SF₆ ou quand le transformateur est protégé par des éclateurs. La valeur de crête de l'onde coupée doit être de 10 % supérieure à celle de l'onde pleine.

Pour les transformateurs avec un enroulement haute tension avec $U_m > 72,5$ kV, les essais au choc de foudre sont des essais individuels pour tous les enroulements du transformateur.

Tableau 1 – Exigences et essais pour différentes catégories d'enroulements

Catégorie d'enroulement	Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV	Essais				
		Choc de foudre (CF) (voir articles 13 et 14)	Choc de manœuvre (CM) (voir article 15)	Longue durée FI (FI LD) (voir 12.4)	Courte durée FI (FI CD) (voir 12.2 ou 12.3)	Tension appliquée FI (voir article 11)
Isolation uniforme	$U_m \leq 72,5$	Type (note 1)	Non applicable	Non applicable (note 1)	Série	Série
Isolation uniforme et non uniforme	$72,5 < U_m \leq 170$	Série	Non applicable	Spécial	Série	Série
	$170 < U_m < 300$	Série	Série (note 2)	Série	Spécial (note 2)	Série
	$U_m \geq 300$	Série	Série	Série	Spécial	Série

NOTE 1 Dans certains pays, pour les transformateurs dont $U \leq 72,5$ kV, les essais CF sont prescrits comme des essais de série et les essais FI LD sont prescrits comme des essais de série ou des essais de type.

NOTE 2 Si l'essai FI CD est spécifié, l'essai au CM n'est pas nécessaire. Il convient que ceci soit clairement notifié dans le document de l'appel d'offre.

7.2 Exigences concernant l'isolement

Les exigences diélectriques normalisées sont:

- si applicable selon le tableau 1, une tension d'essai de tenue au choc de manœuvre normalisée (CM) pour la borne de ligne selon le tableau 4;
- une tension d'essai de tenue au choc de foudre normalisée (CF) pour les bornes de ligne selon les tableaux 2, 3 ou 4;
- si spécifié, une tension de tenue au choc de foudre normalisée (CF) pour la borne de neutre; pour l'isolation uniforme, la valeur de crête de la tension de choc étant la même que celle des bornes de ligne; pour l'isolation non uniforme, la valeur crête de la tension de choc comme étant spécifié en 7.4.3;
- une tension de tenue normalisée en FI appliquée par source séparée selon les tableaux 2, 3 ou 4;
- si applicable selon le tableau 1, une tension de tenue normalisée induite en FI de courte durée (FI CD) pour les bornes de ligne selon les tableaux 2, 3 ou 4, ainsi que 12.2 ou 12.3;
- si applicable selon le tableau 1, une tension de tenue induite en FI de longue durée (FI LD) avec mesure du niveau des décharges partielles selon 12.4.

The extension of the lightning impulse test to include impulses chopped on the tail as a special test is recommended in cases where the transformer is directly connected to GIS by means of oil/SF₆ bushings or when the transformer is protected by rod gaps. The peak value of the chopped impulse shall be 10 % higher than for the full impulse.

For transformers with a high-voltage winding having $U_m > 72,5$ kV, lightning impulse tests are routine tests for all windings of the transformer.

Table 1 – Requirements and tests for different categories of windings

Category of winding	Highest voltage for equipment U_m kV	Tests				
		Lightning impulse (LI) (see clause 13 and 14)	Switching impulse (SI) (see clause 15)	Long duration AC (ACLD) (see 12.4)	Short duration AC (ACSD) (see 12.2 or 12.3)	Separate source AC (see clause 11)
Uniform insulation	$U_m \leq 72,5$	Type (note 1)	Not applicable	Not applicable (note 1)	Routine	Routine
Uniform and non-uniform insulation	$72,5 < U_m \leq 170$	Routine	Not applicable	Special	Routine	Routine
	$170 < U_m < 300$	Routine	Routine (note 2)	Routine	Special (note 2)	Routine
	$U_m \geq 300$	Routine	Routine	Routine	Special	Routine

NOTE 1 In some countries, for transformers with $U_m \leq 72,5$ kV, LI tests are required as routine tests, and ACLD tests are required as routine or type tests.

NOTE 2 If the ACSD test is specified, the SI test is not required. This should be clearly stated in the enquiry document.

7.2 Insulation requirements

The standard dielectric requirements are:

- if applicable in table 1, a standard switching impulse withstand voltage (SI) for the line terminals according to table 4;
- a standard lightning impulse withstand voltage (LI) for the line terminals according to table 2, 3 or 4;
- if specified, a standard impulse withstand voltage (LI) for the neutral terminal; for uniform insulation, the peak value of the impulse voltage being the same as for the line terminals; for non-uniform insulation, the peak value of the impulse voltage as specified in 7.4.3;
- a standard separate source AC withstand voltage according to table 2, 3 or 4;
- if applicable in table 1, a standard short-duration AC induced withstand voltage (ACSD) for the line terminals according to table 2, 3 or 4 and 12.2 or 12.3;
- if applicable in table 1, a long-duration induced AC voltage (ACLD) with partial discharge measurement according to 12.4.

Tableau 2 – Tensions de tenue normalisées pour les enroulements des transformateurs avec tension la plus élevée pour le matériel $U_m \leq 170$ kV – Série I fondée sur la pratique européenne

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV efficaces	Tension de tenue assignée au choc de foudre kV crête	Tension de tenue assignée de courte durée induite ou par tension appliquée en FI kV efficaces
3,6	20	10
7,2	40	20
12	60	28
17,5	75	38
24	95	50
	125	
36	145	70
	170	
52	250	95
60	280	115
72,5	325	140
100	380	150
123	450	185
145	550	230
170	650	275
	750	325

NOTE Les lignes en pointillés peuvent nécessiter des essais supplémentaires entre phases pour prouver que les tensions de tenue entre phases sont bien satisfaites.

Les enroulements à basse tension avec $U_m \leq 1,1$ kV doivent être essayés avec une tension de tenue en FI par source séparée de 3 kV.

Table 2 – Rated withstand voltages for transformer windings with highest voltage for equipment $U_m \leq 170$ kV – Series I based on European practice

Highest voltage for equipment U_m kV r.m.s.	Rated lightning impulse withstand voltage kV peak	Rated short duration induced or separate source AC withstand voltage kV r.m.s.
3,6	20	10
7,2	40	20
12	60	28
17,5	75	38
24	95	50
	125	
36	145	70
	170	
52	250	95
60	280	115
72,5	325	140
100	380	150
123	450	185
145	550	230
170	650	275
	750	325

NOTE Dotted lines may require additional phase-to-phase withstand tests to prove that the required phase-to-phase withstand voltages are met.

Low-voltage windings with $U_m \leq 1,1$ kV shall be tested with 3 kV separate source AC withstand voltage.

7.3 Essais diélectriques

Les exigences diélectriques normalisées sont vérifiées par des essais diélectriques. Ils doivent, lorsqu'ils sont applicables et lorsqu'aucune autre disposition n'a fait l'objet d'un accord, être exécutés dans l'ordre donné ci-dessous.

- **Choc de manœuvre (CM) pour la borne de ligne**, voir article 15

L'essai est destiné à vérifier la tenue au choc de manœuvre des bornes de ligne et du ou des enroulements qui y sont connectés par rapport à la terre et aux autres enroulements, ainsi que la tenue entre phases et le long des enroulements en essai.

L'essai représente une exigence essentielle pour les transformateurs sujets à un essai de tension de tenue induite en FI de longue durée (FI LD).

- **Essai de choc de foudre (CF) pour les bornes de ligne**, voir article 13

L'essai est destiné à vérifier la tenue au choc de foudre du transformateur en essai, quand l'onde est appliquée sur ses bornes de ligne. Lorsque l'essai au choc de foudre comporte des ondes de choc coupées sur la queue (CFC), la procédure d'essai de choc est modifiée conformément à l'article 14.

- **Essai de choc de foudre (CF) pour la borne neutre**, voir 13.3.2

L'essai est destiné à vérifier la tenue au choc de la borne neutre et des enroulements qui y sont connectés par rapport à la terre et aux autres enroulements et le long du ou des enroulements soumis à l'essai.

Cet essai est exigé si une tension de tenue normalisée au choc de foudre pour le neutre est spécifiée.

- **Essai de tension de tenue par source séparée en FI (essai par tension appliquée)**, voir article 11

L'essai est destiné à vérifier la tenue en tension appliquée en FI des bornes de ligne et de neutre et des enroulements qui y sont connectés par rapport à la terre et aux autres enroulements.

- **Essai de tension de tenue de courte durée par tension induite en FI (FI CD)**, voir 12.2 et 12.3

L'essai est destiné à vérifier la tenue en FI de chaque borne de ligne et des enroulements qui y sont connectés par rapport à la terre et aux autres enroulements et la tenue entre phases et le long des enroulements soumis à l'essai.

L'essai doit être conduit selon 12.2 pour l'isolation uniforme et selon 12.3 pour l'isolation non uniforme.

Pour $U_m > 72,5$ kV, l'essai est normalement conduit avec des mesures du niveau des décharges partielles pour vérifier l'absence de décharges partielles dans les conditions du transformateur en service.

Par accord entre fournisseur et acheteur, les mesures du niveau des décharges partielles peuvent aussi être exécutées pour $U_m \leq 72,5$ kV.

- **Essai de tenue de tension induite en FI de longue durée (FI LD)**, voir 12.4

Cet essai n'est pas un essai destiné à éprouver la conception mais un essai de contrôle de la qualité pour couvrir les surtensions temporaires et les contraintes pouvant apparaître en service. Il est destiné à vérifier l'absence de décharges partielles dans le transformateur dans les conditions de service.

7.3 Dielectric tests

The standard dielectric requirements are verified by dielectric tests. They shall, where applicable and not otherwise agreed upon, be performed in the sequence as given below.

- **Switching impulse test (SI) for the line terminal**, see clause 15

The test is intended to verify the switching impulse withstand strength of the line terminals and its connected winding(s) to earth and other windings, the withstand strength between phases and along the winding(s) under test.

The test is an essential requirement for transformers subjected to a long-duration induced AC withstand voltage (ACLD) test.

- **Lightning impulse test (LI) for the line terminals**, see clause 13

The test is intended to verify the impulse withstand strength of the transformer under test, when the impulse is applied to its line terminals. If the lightning impulse test includes impulses chopped on the tail (LIC), the impulse test is modified according to clause 14.

- **Lightning impulse test (LI) for the neutral terminal**, see 13.3.2

The test is intended to verify the impulse withstand voltage of the neutral terminal and its connected winding(s) to earth and other windings, and along the winding(s) under test.

This test is required if a standard impulse withstand voltage for the neutral is specified.

- **Separate source AC withstand voltage test (applied potential test)**, see clause 11

The test is intended to verify the AC withstand strength of the line and neutral terminals and their connected windings to earth and other windings.

- **Short-duration induced AC withstand voltage test (ACSD)**, see 12.2 and 12.3

The test is intended to verify the AC withstand strength of each line terminal and its connected winding(s) to earth and other windings, the withstand strength between phases and along the winding(s) under test.

The test shall be performed in accordance with 12.2 for uniform insulation and 12.3 for non-uniform insulation.

For $U_m > 72,5$ kV, the test is normally performed with partial discharge measurements to verify partial discharge free operation of the transformer under operating conditions. By agreement between supplier and purchaser, the partial discharge measurements may also be performed for $U_m \leq 72,5$ kV.

- **Long-duration induced AC voltage test (ACLD)**, see 12.4

This test is not a design proving test, but a quality control test, and is intended to cover temporary overvoltages and continuous service stress. It verifies partial discharge-free operation of the transformer under operating conditions.

Tableau 3 – Tensions de tenue normalisées pour les enroulements de transformateur avec tension la plus élevée pour le matériel $U_m \leq 169$ kV – Série II fondée sur la pratique nord-américaine

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV efficaces	Tension de tenue assignée au choc de foudre kV crête		Tension de tenue assignée de courte durée induite ou par tension appliquée en FI kV efficaces	
	Transformateurs de distribution (note 1) et transformateurs de classe I (note 2)	Transformateurs de classe II (note 3)	Transformateurs de distribution et de classe I	Transformateurs de classe II
15	95 125	110	34 40	34 -
26,4	150	150	50	50
36,5	200	200	70	70
48,3	250	250	95	95
72,5	350	350	140	140
121		350		140
		450		185
145		550		230
		650		275
169		750		325

NOTE 1 Les transformateurs de distribution transmettent l'énergie électrique à partir d'un circuit primaire de distribution à un circuit secondaire de distribution.

NOTE 2 Les transformateurs de puissance de la classe I sont tels que $U_m \leq 72,5$ kV.

NOTE 3 Les transformateurs de puissance de la classe II sont tels que $U_m \geq 121$ kV.

**Table 3 – Rated withstand voltages for transformer windings
with highest voltage for equipment $U_m \leq 169$ kV –
Series II based on North American practice**

Highest voltage for equipment U_m kV r.m.s.	Rated lightning impulse withstand voltage kV peak		Rated short-duration induced or separate source AC withstand voltage kV r.m.s.	
	Distribution (note 1) and class I transformers (note 2)	Class II transformers (note 3)	Distribution and class I transformers	Class II transformers
	15	95 125	110 –	34 40
26,4	150	150	50	50
36,5	200	200	70	70
48,3	250	250	95	95
72,5	350	350	140	140
121		350		140
		450		185
145		550		230
		650		275
169		750		325

NOTE 1 Distribution transformers transfer electrical energy from a primary distribution circuit to a secondary distribution circuit.

NOTE 2 Class I power transformers include high-voltage windings of $U_m \leq 72,5$ kV.

NOTE 3 Class II power transformers include high-voltage windings of $U_m \geq 121$ kV.

Tableau 4 – Tensions de tenue normalisées pour les enroulements de transformateur avec $U_m > 170$ kV

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV efficaces	Tension de tenue assignée au choc de manoeuvre phase-terre kV crête	Tension de tenue assignée au choc de foudre kV crête	Tension de tenue assignée de courte durée induite ou par source séparée en FI kV efficaces
245	550	650	325
	650	750	360
300	750	850	395
362	850	950	460
	950	1050	510
		1175	
	850	1050	460
420	950	1175	510
	1050	1300	570
550	1175	1425	630
	1300	1550	680
		1675	
800	1300	1800	note 3
	1425	1950	note 3
	1550	2100	note 3

NOTE 1 Les lignes en pointillés ne sont pas conformes à la CEI 60071-1 mais sont de pratique courante dans certains pays.

NOTE 2 Pour les transformateurs à isolation uniforme avec des valeurs très basses pour les niveaux d'isolement assignés en FI, des mesures spéciales peuvent devoir être prises pour l'exécution de l'essai réduit en FI de courte durée, voir 12.2.

NOTE 3 Non applicable, sauf convention contraire entre les parties prenantes.

NOTE 4 Pour les tensions indiquées dans la dernière colonne, on peut exiger, pour démontrer que l'on obtient bien les tensions phase-à-phase exigées, des tensions d'essai plus élevées. Ceci s'applique aux plus bas niveaux d'isolement affectés aux différentes valeurs de U_m dans le tableau.

7.4 Exigences d'isolement et d'essais pour la borne neutre d'un enroulement

7.4.1 Généralités

Le niveau d'isolement nécessaire dépend du fait que la borne neutre est mise ou non directement à la terre en service, laissée ouverte ou reliée à la terre via une impédance. Lorsque la borne de neutre n'est pas directement reliée à la terre, il convient d'installer un dispositif de protection contre les surtensions entre la borne neutre et la terre pour limiter les surtensions transitoires.

NOTE Les recommandations qui suivent traitent de la détermination de la tension de tenue minimum nécessaire pour la borne neutre. Une augmentation de la valeur peut souvent être envisagée et peut améliorer l'interchangeabilité du transformateur dans le réseau. Pour l'isolation non uniforme, il peut être nécessaire de concevoir l'enroulement avec un niveau d'isolement élevé du neutre, par suite des connexions d'essais mises en œuvre lors de l'essai de tension de tenue en FI du transformateur, voir 12.3.

**Table 4 – Rated withstand voltages for transformer windings
with $U_m > 170$ kV**

Highest voltage for equipment U_m kV r.m.s.	Rated switching impulse withstand voltage phase-to-earth kV peak	Rated lightning impulse withstand voltage kV peak	Rated short-duration induced or separate source AC withstand voltage kV r.m.s.
245	550	650	325
	650	750	360
300	750	850	395
362	850	950	460
	950	1050	510
		1175	
	850	1050	460
420	950	1175	510
	1050	1300	570
550	1175	1425	630
	1300	1550	680
	1300	1675	note 3
800	1425	1800	note 3
	1550	1950	note 3
		2100	

NOTE 1 Dotted lines are not in line with IEC 60071-1 but are current practice in some countries.

NOTE 2 For uniformly insulated transformers with extremely low values of rated AC insulation levels, special measures may have to be taken to perform the short-duration AC induced test, see 12.2.

NOTE 3 Not applicable, unless otherwise agreed.

NOTE 4 For voltages given in the last column, higher test voltages may be required to prove that the required phase-to-phase withstand voltages are met. This is valid for the lower insulation levels assigned to the different U_m in the table.

7.4 Insulation requirements and tests for the neutral terminal of a winding

7.4.1 General

The necessary insulation level depends on whether or not the neutral terminal is intended to be directly earthed, left open or earthed via an impedance. When the neutral terminal is not directly earthed, an overvoltage protective device should be installed between the neutral terminal and earth in order to limit transient voltages.

NOTE The recommendations below deal with the determination of the necessary minimum withstand voltage for the neutral terminal. An increase of the value may sometimes easily be arranged and can improve the interchangeability of the transformer in the system. For non-uniform insulation it may be necessary to design the winding with higher neutral insulation level because of the test connection to be used for the AC withstand test of the transformer, see 12.3.

7.4.2 Borne neutre directement mise à la terre

La borne neutre doit être connectée en permanence directement à la terre ou à travers un transformateur de courant, mais sans aucune addition intentionnelle d'une impédance dans la connexion.

Dans ce cas, la valeur de la tension de tenue appliquée en FI (par source séparée) doit être au moins soit de 38 kV (pratique européenne), soit de 34 kV, (pratique nord-américaine).

Aucun essai de choc sur la borne de neutre n'est recommandé. Pendant les essais de choc sur une borne de ligne, la borne de neutre doit être connectée directement à la terre.

7.4.3 Borne de neutre non directement mise à la terre

La borne de neutre n'est pas en permanence directement mise à la terre. Elle peut être reliée à la terre à travers une impédance importante (par exemple bobine d'extinction d'arc). Les bornes neutres propres à chaque enroulement peuvent être reliées à un transformateur de réglage.

Il est de la responsabilité de l'acheteur de définir le dispositif de protection contre les surtensions, de déterminer son niveau de protection au choc, et de spécifier le niveau correspondant de tension de tenue au choc pour la borne neutre du transformateur. Une valeur de U_m appropriée est à sélectionner à partir des tableaux 2, 3 ou 4 et la tension de tenue appliquée en FI (par source séparée) tirée du tableau doit s'appliquer. Il convient que la tension de tenue en FI soit plus élevée que la surtension maximale apparaissant lors des conditions de défaut du réseau.

La tension de tenue assignée au choc de la borne neutre doit être vérifiée par l'un ou l'autre des deux essais définis en 13.3.2. Un essai de choc en onde coupée sur le neutre n'est pas applicable. Pour les transformateurs ayant un enroulement à prises disposé physiquement près de l'extrémité neutre de l'enroulement, la connexion de prises correspondant au rapport maximal des spires doit être choisie pour l'essai de choc en l'absence d'une convention contraire entre l'acheteur et le fournisseur.

8 Essais sur un transformateur comportant un enroulement à prises

Si la plage de réglage est $\pm 5\%$ ou moins, les essais diélectriques doivent être exécutés avec le transformateur connecté sur la prise principale.

Si la plage de réglage est plus grande que $\pm 5\%$, le choix de la prise ne peut pas être prescrit de manière universelle et les dispositions suivantes s'appliquent.

Les conditions d'essais déterminent le choix de la prise requise pour l'essai induit en FI et pour l'essai au choc de manœuvre (CM), voir article 6.

Pour l'essai aux ondes de choc de foudre (CF), les contraintes diélectriques sont distribuées de manière différente en fonction de la prise retenue et de la conception générale du transformateur. A moins que l'essai de choc sur une prise particulière n'ait fait l'objet d'un accord, les deux prises extrêmes et la prise principale d'un transformateur triphasé doivent être utilisées, une prise pour chacune des trois phases individuelles d'un transformateur triphasé ou pour chacun des trois transformateurs monophasés constitutifs d'un banc triphasé. Pour un essai de choc sur la borne neutre, voir 7.4.3.

7.4.2 Directly earthed neutral terminal

The neutral terminal shall be permanently connected to earth, directly or through a current transformer, but without any intentionally added impedance in the connection.

In this case, the separate source AC withstand voltage shall be at least either 38 kV (European practice) or 34 kV (North American practice).

No impulse test on the neutral terminal is recommended. During impulse tests on a line terminal, the neutral shall be connected directly to earth.

7.4.3 Neutral terminal not directly earthed

The neutral terminal is not to be permanently in direct connection to earth. It may be connected to earth through a considerable impedance (for example arc-suppression coil earthing). Separate phase-winding neutral terminals may be connected to a regulating transformer.

It is the responsibility of the purchaser to select the overvoltage protective device, to determine its impulse protection level, and to specify the corresponding impulse withstand voltage for the neutral terminal of the transformer. A suitable U_m shall be assigned for the neutral and shall be selected from table 2, 3 or 4, and the corresponding rated separate source AC withstand voltage from the table shall apply. The AC withstand voltage should be greater than the maximum overvoltage arising under system fault conditions.

The rated impulse withstand voltage of the neutral terminal shall be verified by either of the two tests described in 13.3.2. A chopped wave impulse test on the neutral is not applicable. For transformers having a tapped winding near the neutral end of the winding, the tapping connection with the maximum turns ratio shall be chosen for the impulse test, if not otherwise agreed between purchaser and supplier.

8 Tests on a transformer having a tapped winding

If the tapping range is $\pm 5\%$ or less, the dielectric tests shall be done with the transformer connected on the principal tapping.

If the tapping range is larger than $\pm 5\%$, the choice of tapping cannot be prescribed universally and the following applies.

Testing conditions determine the choice of tapping required for the induced AC test and for the switching impulse test (SI), see clause 6.

Under lightning impulse test (LI) the dielectric stresses are distributed differently depending on the tapping connection and the general design of the transformer. Unless impulse testing on a particular tapping has been agreed, the two extreme tappings and the principal tapping shall be used, one tapping for each of the three individual phases of a three-phase transformer or the three single-phase transformers designed to form a three-phase bank. For an impulse test on the neutral terminal, see 7.4.3.

9 Renouvellement des essais diélectriques

Pour les transformateurs qui ont déjà été mis en service et ont été remis à neuf ou réparés, les essais diélectriques suivant 7.2, 7.3 et 7.4 doivent être renouvelés à des niveaux d'essais de 80 % des valeurs d'origine, sauf convention contraire et sous réserve que l'isolation interne n'ait pas fait l'objet de modification. Les essais de tension de tenue induite en FI de longue durée (FI LD) selon 12.4 doivent toujours être répétés à 100 % du niveau d'essai.

NOTE Il convient qu'acheteur et fournisseur discutent le critère de décharge partielle selon l'étendue de la réparation.

La répétition des essais, exigée pour apporter la preuve que des transformateurs neufs ont bien été essayés en usine suivant 7.2, 7.3 et 7.4 et continuent à remplir les exigences de la présente norme, doit toujours être exécutée à 100 % du niveau d'essai.

10 Isolement des circuits auxiliaires

Sauf spécification contraire, les circuits auxiliaires d'alimentation et de commande doivent être soumis à un essai de tenue à fréquence industrielle, par source séparée en FI, sous une tension de valeur efficace à la terre de 2 kV pendant 1 min. Les moteurs et autres appareils des équipements auxiliaires doivent remplir les conditions d'isolement indiquées dans les normes CEI les concernant (qui sont généralement des valeurs plus faibles que pour les seuls circuits et ce qui peut obliger quelquefois à les débrancher pour l'essai des circuits).

NOTE Les équipements auxiliaires des grands transformateurs sont habituellement démontés pour le transport. Après montage complet sur le site, il est recommandé d'effectuer un essai à 1 000 V avec un mégohmmètre. Préalablement à l'essai, il convient d'enlever tous les équipements électroniques éventuels avec une tension de tenue <1 000 V.

11 Essai par tension appliquée à fréquence industrielle par source séparée

L'essai de tension de tenue appliquée en FI doit être effectué avec une tension alternative monophasée de forme aussi proche que possible de la forme sinusoïdale et à toute fréquence convenable ≥ 80 % de la fréquence assignée.

La valeur de crête de la tension doit être mesurée. Cette valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$ doit être égale à la valeur d'essai.

L'essai doit commencer à une tension inférieure ou égale au tiers de la valeur d'essai spécifiée et la tension est portée à la valeur d'essai aussi rapidement que le permet la mesure. A la fin de l'essai, on réduit rapidement la tension à une valeur inférieure au tiers de la valeur d'essai avant de la couper. Sur les enroulements à isolation non uniforme, l'essai est réalisé avec la tension d'essai prescrite pour la borne neutre. Les bornes de ligne sont ensuite soumises à un essai de tension de tenue induite en FI selon 12.3 ou 12.4.

La pleine tension d'essai doit être appliquée pendant 60 s entre toutes les bornes de l'enroulement en essai reliées entre elles et toutes les bornes des autres enroulements, le circuit magnétique, l'habillage de celui-ci et la cuve ou l'enveloppe du transformateur, reliés ensemble à la terre.

L'essai est satisfaisant s'il ne se produit aucun effondrement de la tension d'essai.

9 Repeated dielectric tests

For transformers which have already been in service and have been refurbished or serviced, dielectric tests according to 7.2, 7.3 and 7.4 shall be repeated at test levels of 80 % of the original values, unless otherwise agreed upon, and provided that the internal insulation has not been modified. Long-duration AC induced tests (ACLD) according to 12.4 shall always be repeated at 100 % test level.

NOTE The partial discharge criteria should be discussed between the purchaser and supplier depending on the extent of the repair.

Repetition of tests required to prove that new transformers, having been factory tested to 7.2, 7.3 and 7.4, continue to meet the requirements of this standard is always performed at 100 % of test level.

10 Insulation of auxiliary wiring

The wiring for auxiliary power and control circuitry shall be subjected to a 1 min AC separate source test of 2 kV r.m.s. to earth, unless otherwise specified. Motors and other apparatus for auxiliary equipment shall fulfil insulation requirements according to the relevant IEC standard (which are generally lower than the value specified for the wiring alone, and which may sometimes make it necessary to disconnect them in order to test the circuits).

NOTE Auxiliary equipment for large transformers is usually dismantled for shipment. After completion of erection on site, a 1 000 V megaohm meter test is recommended. Any electronic equipment with a withstand voltage less than 1 000 V should be removed prior to this test.

11 Separate source AC withstand voltage test

The separate source AC voltage test shall be made with single-phase alternating voltage as nearly as possible on sine-wave form and not less than 80 % of the rated frequency.

The peak value of voltage shall be measured. The peak value divided by $\sqrt{2}$ shall be equal to the test value.

The test shall commence at a voltage not greater than one-third of the specified test value, and the voltage shall be increased to the test value as rapidly as is consistent with measurement. At the end of the test, the voltage shall be reduced rapidly to less than one-third of the test value before switching off. On windings with non-uniform insulation, the test is carried out with the test voltage specified for the neutral terminal. The line terminals are then subjected to an AC induced withstand voltage test according to 12.3 or 12.4.

The full test voltage shall be applied for 60 s between all terminals of the winding under test connected together and all terminals of the remaining windings, core, frame and tank or casing of the transformer, connected together to earth.

The test is successful if no collapse of the test voltage occurs.

12 Essai par tension induite en FI (FI CD, FI LD)

12.1 Généralités

Les paragraphes 12.2 et 12.3 traitent de l'essai de tenue en tension induite de courte durée en FI (FI CD) pour l'isolation uniforme et l'isolation non uniforme. Pour $U_m > 72,5$ kV l'essai FI CD est normalement conduit avec mesure du niveau des décharges partielles. Les mesures des niveaux des décharges partielles pendant toute la durée de l'essai sont un outil valable pour le fournisseur aussi bien que pour l'acheteur. Elles peuvent indiquer, pendant la durée de l'essai, une déficience de l'isolation avant le claquage. L'essai vérifie l'absence de décharges partielles du transformateur dans les conditions de service.

Les exigences de mesure du niveau des décharges partielles pendant l'essai FI CD peuvent être omises. Ceci doit faire l'objet d'un accord lors de l'appel d'offre et de la commande.

Le paragraphe 12.4. se rapporte à l'essai de tension de tenue induite en FI de longue durée (FI LD) pour l'isolation uniforme et l'isolation non uniforme. Cet essai est toujours effectué avec la mesure du niveau des décharges partielles pendant toute la durée de l'essai.

Une tension alternative doit être appliquée aux bornes d'un enroulement du transformateur. La forme de la tension doit être aussi proche que possible de la forme sinusoïdale et sa fréquence suffisamment élevée par rapport à la fréquence assignée pour éviter un courant magnétisant excessif pendant l'essai.

La valeur de crête de la tension d'essai induite doit être mesurée. La valeur de crête divisée par $\sqrt{2}$ doit être égale à la valeur d'essai.

La durée de l'essai à la pleine tension d'essai doit être de 60 s pour toute fréquence d'essai ≤ 2 fois la fréquence assignée en l'absence de spécification différente. Lorsque la fréquence d'essai est supérieure à 2 fois la fréquence assignée, la durée de l'essai exprimée en secondes doit être de:

$$120 \times \frac{\text{fréquence assignée}}{\text{fréquence d'essai}} \text{ et non inférieure à 15 s}$$

12.2 Essai de tenue par tension induite en FI de courte durée (FI CD) pour transformateurs avec enroulements haute tension à isolation uniforme

Tous les transformateurs triphasés doivent être soumis à l'essai avec une alimentation triphasée symétrique. Lorsqu'un transformateur possède un neutre, il convient de le mettre à la terre pendant l'essai. Pour les transformateurs à enroulements à isolation uniforme, seuls des essais entre phases doivent être conduits. Les essais phase-terre sont traités par les essais par tension appliquée en FI suivant l'article 11.

En fonction de la valeur de la tension la plus élevée pour le matériel U_m , l'essai doit être conduit suivant les prescriptions de 12.2.1 ou de 12.2.2.

12.2.1 Transformateurs avec $U_m \leq 72,5$ kV

La tension d'essai entre phases ne doit pas excéder les tensions de tenue assignées induites en FI des tableaux 2 ou 3. Comme règle, la valeur de la tension d'essai le long d'un enroulement sans prise du transformateur doit être aussi proche que possible de 2 fois la tension assignée. Normalement, aucune mesure du niveau des décharges partielles n'est exécutée pendant cet essai.

12 Induced AC voltage tests (ACSD, ACLD)

12.1 General

Subclauses 12.2 and 12.3 refer to the short-duration induced AC withstand tests (ACSD) for uniform and non-uniform insulation. For $U_m > 72,5$ kV, the ACSD test is normally performed with partial discharge measurements. The measurements of partial discharge during the whole application of the test is a valuable tool for the supplier as well as for the purchaser. Measuring partial discharges during the test may indicate an insulation deficiency before breakdown occurs. The test verifies partial discharge-free operation of the transformer during operating conditions.

The requirements for partial discharge measurement during the ACSD test may be omitted. This shall be clearly stated at the enquiry and order stages.

Subclause 12.4 refers to the long-duration induced AC voltage test (ACLD) for uniform and non-uniform insulation. This test is always performed with the measurement of partial discharges during the whole application of the test.

An alternating voltage shall be applied to the terminals of one winding of the transformer. The form of the voltage shall be as nearly as possible sinusoidal and its frequency shall be sufficiently above the rated frequency to avoid excessive magnetizing current during the test.

The peak value of the induced test voltage shall be measured. The peak value divided by $\sqrt{2}$ shall be equal to the test value.

The test time at full test voltage shall be 60 s for any test frequency up to and including twice the rated frequency, unless otherwise specified. When the test frequency exceeds twice the rated frequency, the test time in seconds of the test shall be:

$$120 \times \frac{\text{rated frequency}}{\text{test frequency}}, \text{ but not less than 15 s}$$

12.2 Short-duration induced AC withstand voltage test (ACSD) for transformers with uniformly insulated high-voltage windings

All three-phase transformers shall be tested with a symmetrical three-phase supply. If a transformer has a neutral, it should be earthed during the test. On transformers with uniformly insulated windings, only phase-to-phase tests are carried out. Phase-to-earth tests are covered by separate source AC tests according to clause 11.

Dependant on the highest voltage for equipment U_m , the test shall be carried out according to 12.2.1 or 12.2.2.

12.2.1 Transformers with $U_m \leq 72,5$ kV

The phase-to-phase test voltage shall not exceed the rated induced AC withstand voltages in tables 2 or 3. As a rule, the test voltage across an untapped winding of the transformer shall be as close as possible to twice the rated voltage. Normally, no partial discharge measurements are performed during this test.

L'essai doit commencer à une tension inférieure ou égale au tiers de la valeur de la tension d'essai, et la tension doit être augmentée aussi rapidement que possible eu égard à la mesure. A la fin de l'essai, la tension doit être réduite rapidement à une tension inférieure au tiers de la valeur d'essai avant coupure.

L'essai est satisfaisant s'il ne se produit aucun effondrement de la tension d'essai.

12.2.2 Transformateurs avec $U_m > 72,5$ kV

Ces transformateurs doivent tous, sauf spécification contraire ayant fait l'objet d'un accord, être essayés avec mesure du niveau des décharges partielles. Les tensions d'essais entre phases ne doivent pas excéder les tensions de tenue en FI assignées des tableaux 2, 3 ou 4. Comme règle, la tension d'essai développée le long d'un enroulement sans prise doit être aussi proche que possible de deux fois la tension assignée.

La performance en matière de décharges partielles doit être contrôlée en fonction de la séquence d'application de la tension comme indiquée à la figure 1.

Pour ne pas excéder les tensions de tenue assignée en FI des tableaux 2, 3 et 4, au regard des contraintes entre phases, l'évaluation des niveaux de décharges partielles pour le niveau de tension U_2 doit être:

1,3 $U_m / \sqrt{3}$ phase terre et

1,3 U_m entre phases

L'annexe D, tableau D.1 montre les deux valeurs des tensions d'essais U_1 tirées des tableaux 2 ou 4 et les valeurs appropriées de U_2 .

La tension doit être selon le raccordement à la terre:

- appliquée à un niveau $\leq 1/3 U_2$;
- augmentée jusqu'à $1,1 U_m / \sqrt{3}$ puis maintenue pendant une durée de 5 min;
- augmentée jusqu'à U_2 et maintenue pendant une durée de 5 min;
- augmentée jusqu'à U_1 et maintenue pendant une durée d'essai prescrite en 12.1;
- immédiatement après le temps d'essai, réduite sans interruption jusqu'à U_2 et maintenue pour une durée d'au moins 5 min pour mesure du niveau des décharges partielles;
- réduite à $1,1 U_m / \sqrt{3}$ et maintenue pour une durée de 5 min;
- la tension est ensuite réduite jusqu'à une valeur inférieure au tiers de U_2 , puis coupée.

The test shall be commenced at a voltage not greater than one-third of the test value and the voltage shall be increased to the test value as rapidly as is consistent with measurement. At the end of the test, the voltage shall be reduced rapidly to less than one-third of the test value before switching off.

The test is successful if no collapse of the test voltage occurs.

12.2.2 Transformers with $U_m > 72,5$ kV

These transformers shall all, if not otherwise agreed, be tested with partial discharge measurement. The phase-to-phase test voltages shall not exceed the rated AC withstand voltages of tables 2, 3 or 4. As a rule, the test voltage across an untapped winding of the transformer shall be as close as possible to twice the rated voltage.

The partial discharge performance shall be controlled according to the time sequence for the application of the voltage as shown in figure 1.

In order not to exceed the rated withstand voltage between phases according to tables 2, 3 and 4, the partial discharge evaluation level U_2 shall be:

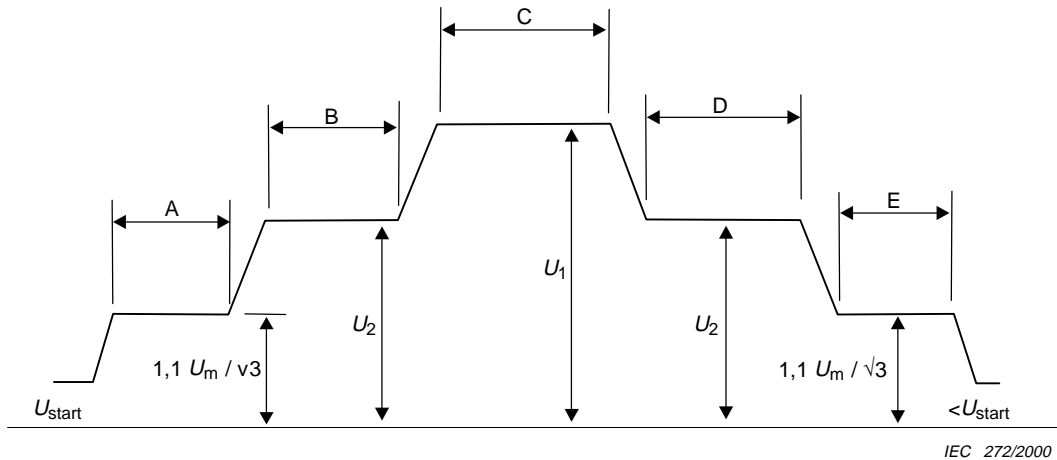
1,3 $U_m / \sqrt{3}$ phase-to-earth and

1,3 U_m phase-to-phase

Annex D, table D.1 shows both the test voltages U_1 obtained from tables 2 or 4 and appropriate values of U_2 .

The voltage with respect to earth shall be:

- switched on at a level not higher than one-third of U_2 ;
- raised to $1,1 U_m / \sqrt{3}$ and held there for a duration of 5 min;
- raised to U_2 and held there for a duration of 5 min;
- raised to U_1 , held there for the test time as stated in 12.1;
- immediately after the test time, reduced without interruption to U_2 and held there for a duration of at least 5 min to measure partial discharges;
- reduced to $1,1 U_m / \sqrt{3}$ and held there for a duration of 5 min;
- reduced to a value below one-third of U_2 before switching off.



- A = 5 min
- B = 5 min
- C = durée d'essai
- D ≥ 5 min
- E = 5 min

Figure 1 – Séquence d'application de la tension d'essai selon le raccordement à la terre

Pendant l'augmentation de la tension jusqu'à U_2 et sa diminution à partir de U_2 , les valeurs des éventuelles tensions d'apparition et d'extinction des décharges doivent être notées.

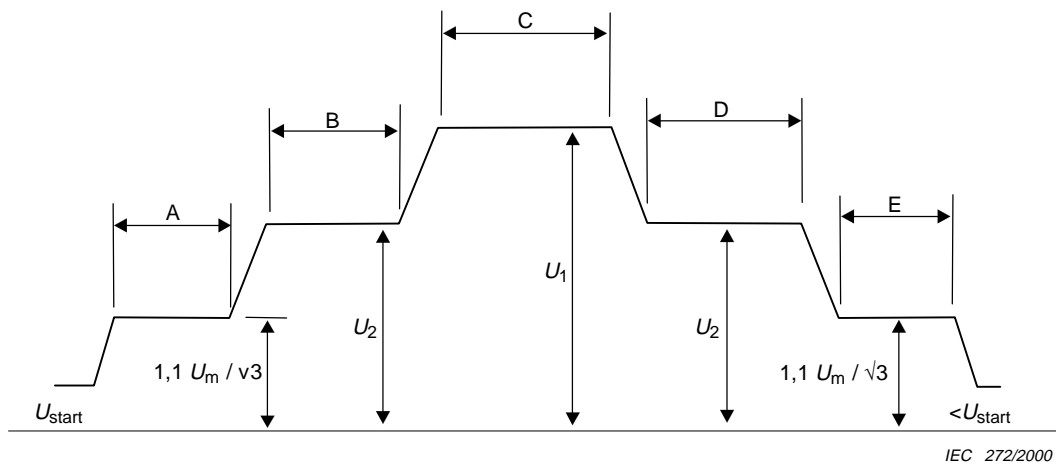
Le niveau de bruit de fond doit être inférieur à 100 pC.

NOTE Il est recommandé que le niveau de bruit de fond soit très inférieur à 100 pC pour permettre la détection et l'enregistrement d'éventuelles apparitions et extinction des décharges partielles. La valeur ci-dessus mentionnée de 100 pC à $1,1 U_m / \sqrt{3}$ est un compromis pour l'acceptation de l'essai.

L'essai est satisfaisant si:

- il n'y a pas d'effondrement de la tension d'essai;
- le niveau permanent de la charge apparente à U_2 pendant la deuxième période de 5 min est ≤ 300 pC pour toutes les voies de mesures;
- le niveau des décharges partielles ne montre pas une tendance croissante continue;
- le niveau permanent de la charge apparente n'excède pas 100 pC à $1,1 U_m / \sqrt{3}$.

Le non respect des critères d'acceptation en matière de décharges partielles doit conduire à une concertation entre acheteur et fournisseur pour d'autres investigations (annexe A). Dans de tels cas, un essai par tension induite de longue durée en FI (voir 12.4) peut être conduit. Si le transformateur satisfait alors aux prescriptions de 12.4, l'essai doit être considéré comme satisfaisant.



- A = 5 min
- B = 5 min
- C = test time
- D ≥ 5 min
- E = 5 min

Figure 1 – Time sequence for the application of test voltage with respect to earth

During the raising of the voltage up to a level and reduction from U_2 down again, possible partial discharge inception and partial discharge extinction voltages shall be noted.

The background noise level shall not exceed 100 pC.

NOTE It is recommended that the background noise level should be considerably lower than 100 pC in order to ensure that any inception and extinction of partial discharge can be detected and recorded. The above-mentioned value of 100 pC at $1,1 U_m / \sqrt{3}$ is a compromise for the acceptance of the test.

The test is successful if

- no collapse of the test voltage occurs;
- the continuous level of ‘apparent charge’ at U_2 during the second 5 min does not exceed 300 pC on all measuring terminals;
- the partial discharge behaviour does not show a continuing rising tendency;
- the continuous level of apparent charges does not exceed 100 pC at $1,1 U_m / \sqrt{3}$.

A failure to meet the partial discharge criteria shall lead to consultation between purchaser and supplier about further investigations (annex A). In such cases, a long-duration induced AC voltage test (see 12.4) may be performed. If the transformer meets the requirements of 12.4, the test shall be considered successful.

12.3 Essai de tenue de tension induite en FI de courte durée phase-terre (FI CD) avec enroulements haute tension à isolation non uniforme

Deux séries d'essais sont exigées pour les transformateurs triphasés, respectivement:

- a) Un essai phase-terre avec des tensions assignées de tenue entre phase et terre conformes aux tableaux 2, 3 ou 4 avec mesure de décharges partielles.
- b) Un essai entre phases avec neutre à la terre et avec des tensions assignées de tenue entre phases conformes aux tableaux 2, 3 ou 4 avec mesure de décharges partielles. L'essai doit être réalisé conformément à 12.2.2.

Un essai phase-terre est exigé sur les transformateurs monophasés uniquement. En principe cet essai est réalisé avec la borne neutre mise à la terre. Si le rapport de transformation entre enroulements est variable par l'intermédiaire de prises, il convient de le mettre à profit pour satisfaire autant que possible aux conditions des tensions d'essai sur les différents enroulements simultanément. Dans des cas exceptionnels, voir article 6, la tension sur la borne neutre peut être augmentée par connexion à un transformateur survolteur auxiliaire. Il convient d'isoler le neutre en conséquence dans de tels cas.

La séquence d'essai pour un transformateur triphasé consiste en trois applications monophasées de la tension d'essai avec différents points de l'enroulement reliés à la terre à chaque fois. Les connexions d'essais recommandées qui évitent des surtensions excessives entre les bornes de ligne sont indiquées à la figure 2. Il y a aussi d'autres méthodes possibles.

Les autres enroulements séparés doivent généralement être mis à la terre à leur point neutre s'ils sont à couplage étoile, et à une de leurs bornes s'ils sont à couplage triangle.

La tension par spire pendant l'essai atteint différentes valeurs dépendant des connexions d'essais. Le choix de la connexion d'essai appropriée est déterminé par les caractéristiques du transformateur, en respectant les conditions de service ou les limitations des moyens d'essais en usine. La durée de l'essai et la séquence d'essai pour l'application de la tension d'essai doivent être celles décrites en 12.1 et 12.2.2.

Pour l'évaluation de la performance en matière de décharges partielles, pendant l'essai entre phases il convient de faire les mesures pour $U_2 = 1,3 U_m$.

NOTE La valeur $U_2 = 1,3 U_m$ est valable jusqu'à $U_m = 550$ kV avec un niveau de tension d'essai en FI plus grand que 510 kV. Pour $U_m = 420$ kV et 550 kV avec des valeurs d'essais en FI de 460 kV ou 510 kV, il convient, pour l'évaluation des décharges partielles de réduire le niveau à $U_2 = 1,2 U_m$ pour ne pas excéder les tensions de tenue d'essais en FI du tableau 4.

Pour les trois essais monophasés pour l'isolement phase-terre, U_1 est la tension d'essai prescrite par les tableaux 2, 3 ou 4 et $U_2 = 1,5 U_m / \sqrt{3}$. Des exemples sont donnés dans le tableau D.2.

NOTE 1 Dans le cas de transformateurs comportant des arrangements compliqués d'enroulement, il est recommandé que les connexions de tous les enroulements pendant l'essai soient revues entre fournisseur et acheteur au moment de la commande, pour que l'essai représente une combinaison réaliste des contraintes en service autant que possible.

NOTE 2 Un essai additionnel de tenue en tension induite en FI avec des tensions triphasées symétriques produit des contraintes plus élevées entre phases. Si l'essai est prescrit, il convient d'ajuster en conséquence les distances dans l'air entre phases et de les spécifier au moment de la commande.

NOTE 3 En France, ne sont pas acceptées les mesures de décharges partielles lors d'un essai de courte durée à courant alternatif sur des enroulements haute tension non uniformément isolés.

12.3 Short-duration AC withstand voltage test (ACSD) for transformers with non-uniformly insulated high-voltage windings

For three-phase transformers, two sets of tests are required, namely:

- a) A phase-to-earth test with rated withstand voltages between phase and earth according to tables 2, 3 or 4 with partial discharge measurement.
- b) A phase-to-phase test with earthed neutral and with rated withstand voltages between phases according to tables 2, 3 or 4 with partial discharge measurement. The test shall be carried out in accordance with 12.2.2.

On single-phase transformers, only a phase-to-earth test is required. This test is normally carried out with the neutral terminal earthed. If the ratio between the windings is variable by tapings, this should be used to satisfy test voltage conditions on the different windings simultaneously as far as possible. In exceptional cases, see clause 6, the voltage on the neutral terminal may be raised by connection to an auxiliary booster transformer. In such cases, the neutral should be insulated accordingly.

The test sequence for a three-phase transformer consists of three single-phase applications of test voltage with different points of the winding connected to earth at each time. Recommended test connections which avoid excessive overvoltage between line terminals are shown in figure 2. There are also other possible methods.

Other separate windings shall generally be earthed at the neutral if they are star-connected, and at one of the terminals if they are delta-connected.

The voltage per turn during the test reaches different values depending on the test connection. The choice of a suitable test connection is determined by the characteristics of the transformer with respect to operating conditions or test plant limitations. The test time and the time sequence for the application of test voltage shall be as described in 12.1 and 12.2.2.

For the partial discharge performance evaluation, during the phase-to-phase test, measurements should be taken at $U_2 = 1,3 U_m$.

NOTE The value $U_2 = 1,3 U_m$ is valid up to $U_m = 550$ kV with AC test values greater than 510 kV. For $U_m = 420$ kV and 550 kV with AC test values of 460 kV or 510 kV, the partial discharge evaluation level should be reduced to $U_2 = 1,2 U_m$ in order not to exceed the AC withstand voltages of table 4.

For the three single-phase tests for the phase-to-earth insulation, U_1 is the test voltage according to tables 2, 3 or 4 and $U_2 = 1,5 U_m / \sqrt{3}$. Examples are given in table D.2.

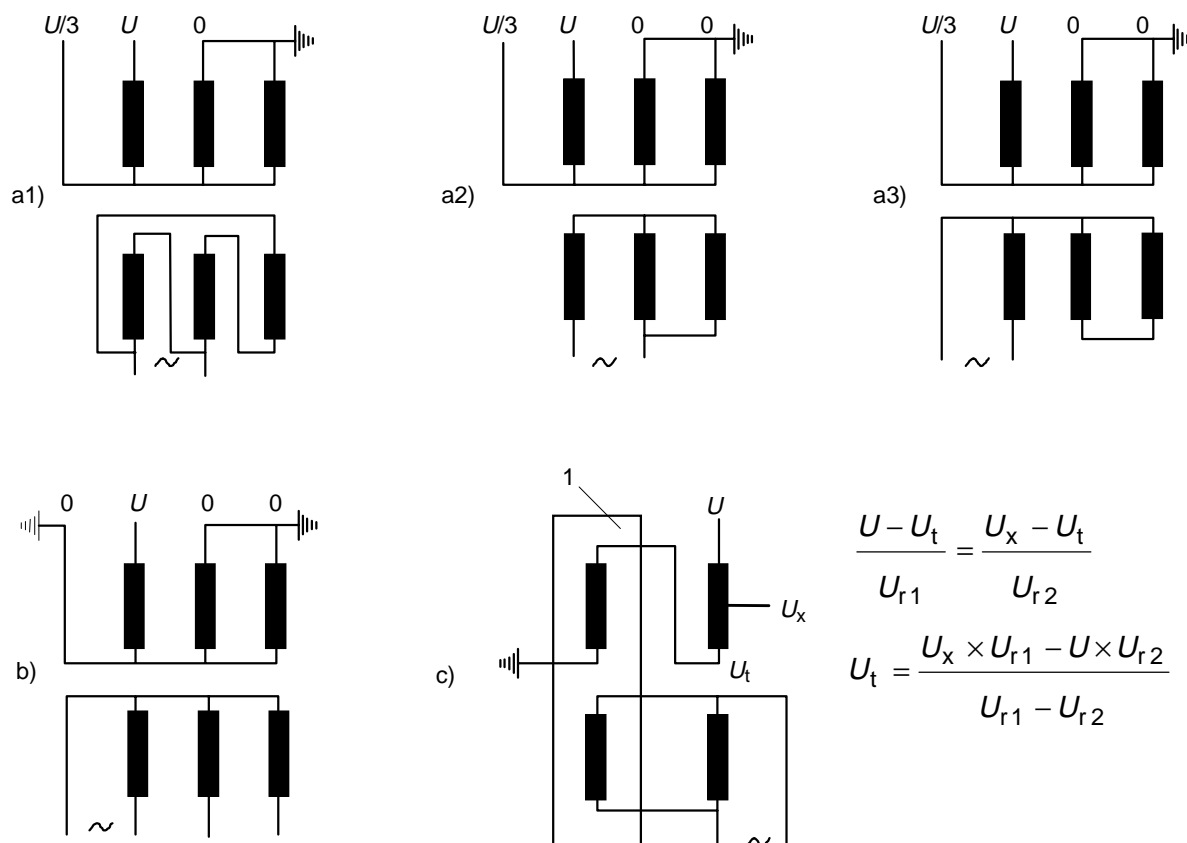
NOTE 1 In the case of transformers with complicated winding arrangements, it is recommended that the complete connection of all windings during the test be reviewed between supplier and purchaser at the contract stage, in order that the test represents a realistic service stress combination as far as possible.

NOTE 2 An additional induced AC withstand test with symmetrical three-phase voltages produces higher stresses between phases. If this test is specified, the clearances between phases should be adjusted accordingly and specified at the contract stage.

NOTE 3 In France, partial discharge measurements during short-duration a.c. test on non-uniform insulated high-voltage windings are not acceptable.

L'essai est satisfaisant s'il ne se produit aucun effondrement de la tension d'alimentation et si les mesures des niveaux de décharges partielles remplissent les exigences prescrites en 12.2.2, avec la modification suivante:

Le niveau continu de la charge apparente à U_2 pendant la seconde période de 5 min n'excède pas 500 pC sur toutes les voies de mesure pour les essais monophasés à $U_2 = 1,5 U_m / \sqrt{3}$ ligne-terre, ou 300 pC pour les essais entre phases à $U_2 = 1,3 U_m$ ou comme cela peut être exigé à $1,2 U_m$ pour les valeurs de coordination à très basse tension alternative.



IEC 2568/2000

Légende

- 1 Transformateur survolteur-dévolteur auxiliaire
- U est la tension d'essai FI phase-terre comme indiqué dans les tableaux 2, 3 ou 4

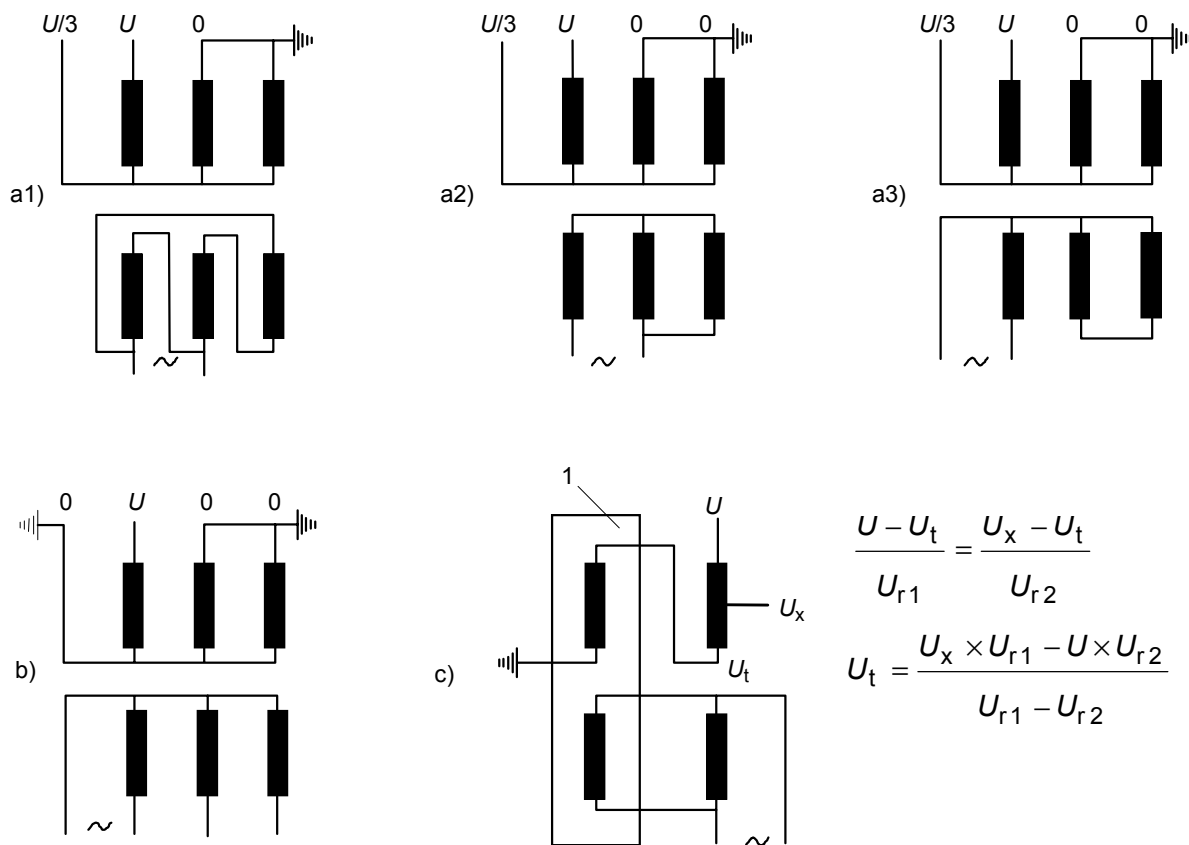
Figure 2 – Schémas d'essais monophasés par tension induite (FI CD) applicables pour transformateurs à isolation non uniforme

Le schéma a) peut être utilisé lorsque le neutre est prévu pour supporter au moins un tiers de la tension d'essai U . Trois schémas différents d'alimentation de l'enroulement basse tension sont représentés. Le schéma a1) seul est applicable lorsque le transformateur comporte des culasses magnétiques de retour non bobinées (transformateur cuirassé ou à cinq colonnes).

Le schéma b) est applicable et recommandé dans le cas des transformateurs triphasés comportant des culasses magnétiques non bobinées pour le retour du flux traversant le noyau de la phase essayée. S'il existe un enroulement en triangle, il doit être ouvert pendant l'essai.

The test is successful if no collapse of the test voltage occurs and if partial discharge measurements fulfil the requirements as stated in 12.2.2 with the following alteration:

The continuous level of 'apparent charge' at U_2 during the second 5 min does not exceed 500 pC on all measuring terminals for single-phase tests at $U_2 = 1,5 U_m/\sqrt{3}$ line-to-earth, or 300 pC for phase-to-phase tests at $U_2 = 1,3 U_m$ or as may be required at extremely low a.c. coordination values at $1,2 U_m$.



IEC 2568/2000

Key

1 Auxiliary booster transformer

U is the AC test voltage phase-to-earth as stated in table 2, 3 or 4

Figure 2 – Connections for single-phase induced AC withstand voltage tests (ACSD) on transformers with non-uniform insulation

Connection a) may be used when the neutral is designed to withstand at least one-third of the voltage U . Three different generator connections to the low-voltage winding are shown. Only a1) is possible if the transformer has unwound magnetic return paths (shell form or five-limb core form).

Connection b) is possible and recommended for three-phase transformers having unwound magnetic return paths for the flux in the tested limb. If there is a delta-connected winding, it has to be open during the test.

Le schéma c) montre un transformateur auxiliaire qui produit une tension de polarisation U_t à la borne neutre d'un autotransformateur en essai. Les tensions assignées des enroulements de l'autotransformateur sont U_{r1} , U_{r2} et les tensions d'essai correspondantes U et U_x . Ce schéma peut aussi être utilisé pour un transformateur triphasé sans culasses magnétiques non bobinées dont l'isolation du neutre est conçue pour moins d'un tiers de la tension U .

12.4 Essai de tension induite en FI de longue durée avec enroulement haute tension à isolation non uniforme et/ou à isolation uniforme (FI LD), conformément au tableau 1

Un transformateur triphasé doit être essayé soit phase par phase dans un système de connexion monophasée qui permet d'obtenir des tensions sur les bornes de ligne suivant la figure 3, soit dans un ensemble de connexions triphasées symétriques. Ce dernier cas exige des précautions particulières, voir note 1 ci-dessous.

Un transformateur triphasé alimenté côté enroulement basse tension avec un enroulement haute tension à couplage triangle peut recevoir les tensions d'essais convenables comme décrit ci-dessous seulement dans un système triphasé avec un enroulement haute tension flottant. Comme les tensions par rapport à la terre dépendent pleinement, dans un tel essai, des capacités par rapport à la terre et aux autres enroulements, cet essai n'est pas recommandé pour les valeurs élevées de $U_m \geq 245$ kV du tableau 1. N'importe quel claquage d'une des bornes de ligne à la terre peut entraîner des dommages majeurs des deux autres phases par suite des hautes tensions apparaissant de manière soudaine. Pour ces types de transformateurs, des connexions monophasées suivant la figure 3 sont préférables, successivement appliquées à toutes les phases d'un transformateur triphasé.

L'essai entre phases des enroulements à couplage triangle implique un double essai de chaque borne de ligne et des enroulements qui y sont connectés. Comme l'essai est un essai de qualité et non un essai destiné à éprouver la conception, l'essai peut être répété pour la borne de ligne concernée sans endommager l'isolement.

La borne de neutre de l'enroulement en essai, si elle existe, doit être mise à la terre. Pour les autres enroulements séparés, s'ils sont à couplage étoile, ils doivent être mis à la terre au point neutre et s'ils sont à couplage triangle ils doivent être mis à la terre à une de leurs traversées de ligne ou mis à la terre à travers le point neutre de la source d'alimentation de tension. Les enroulements à prises doivent être connectés sur la prise principale, à moins qu'une autre prescription n'ait fait l'objet d'un accord.

Le schéma de l'essai (triphase ou monophasé) doit faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur au moment de la commande.

NOTE 1 Lorsqu'un transformateur triphasé à couplage étoile est à essayer en couplage triphasé, la tension d'essai entre phases est plus élevée que dans un système de connexion monophasé. Ceci peut avoir une influence sur la conception de l'isolation entre phases et exigera des distances dans l'air plus grandes.

NOTE 2 Si un transformateur triphasé à couplage triangle doit être essayé dans un système de connexions monophasées, la tension d'essai entre phases est plus grande que celle existante dans un système de connexions triphasées. Ceci peut avoir une influence sur la conception de l'isolation entre phases.

Connection c) shows an auxiliary booster transformer, which gives a bias voltage U_t at the neutral terminal of an auto-transformer under test. Rated voltages of the two auto-connected windings are U_{r1} , U_{r2} , and the corresponding test voltages U , U_x . This connection may also be used for a three-phase transformer without unwound magnetic return paths having the neutral insulation designed for less than one-third of the voltage U .

12.4 Long-duration induced AC voltage test (ACLD) with non-uniformly and/or uniformly insulated high-voltage windings, according to table 1

A three-phase transformer shall be tested either phase-by-phase in a single-phase connection that gives voltages on the line terminals according to figure 3, or in a symmetrical three-phase connection. The latter case requires special precautions, see note 1 below.

A three-phase transformer supplied from the low-voltage winding side with a delta-connected high-voltage winding can receive the proper test voltages as described below only in a three-phase test with a floating high-voltage winding. As the voltages with respect to earth in such a test depend fully on the phase capacitances to earth and other windings, this test is not recommended for $U_m \geq 245$ kV in table 1. Any flashover from one of the line terminals to earth can result in major damage of the other two phases due to sudden high voltages. For these kind of transformers, a single-phase connection according to figure 3 is preferred, successively applied to all three phases of a three-phase transformer.

Phase-by-phase testing of delta-connected windings implies double testing of each line terminal and its connected winding. As the test is a quality control test and not a design proving test, the test can be repeated for the line terminal involved without damaging the insulation.

The neutral terminal, if present, of the winding under test shall be earthed. For other separate windings, if they are star-connected they shall be earthed at the neutral, and if they are delta-connected they shall be earthed at one of the terminals or earthed through the neutral of the supplying voltage source. Tapped windings shall be connected to the principal tapping, unless otherwise agreed.

The test arrangement (three-phase or single-phase) shall be agreed between the supplier and purchaser when placing the order.

NOTE 1 If a three-phase star-connected transformer is to be tested in three-phase connection, the test voltage between phases is higher than in the single-phase connection. This may influence the phase-to-phase insulation design and will require larger external clearances.

NOTE 2 If a three-phase delta-connected transformer is to be tested in single-phase connection, the test voltage between phases is higher than in the three-phase connection. This may influence the phase-to-phase insulation design.

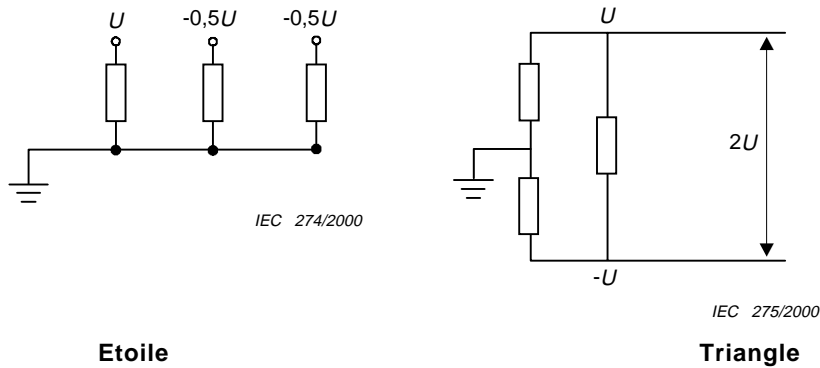
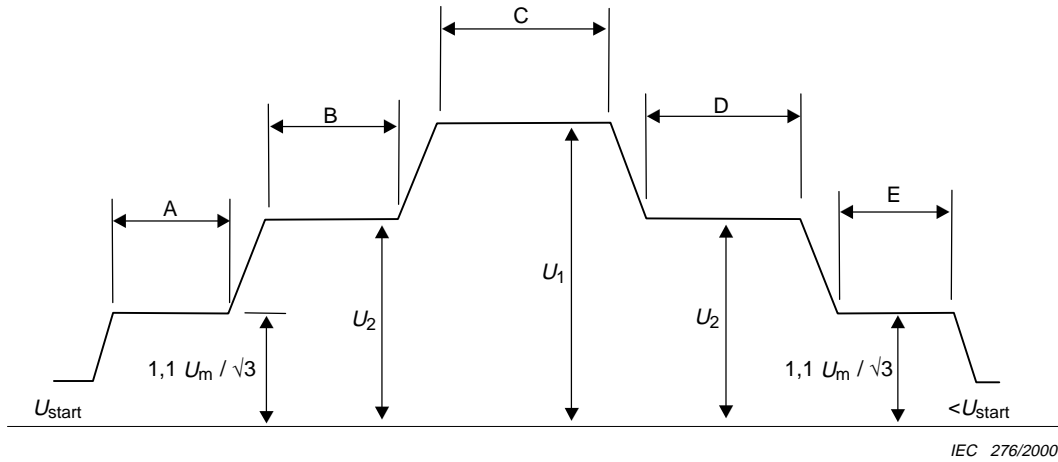


Figure 3 – Essai phase par phase d’un transformateur triphasé étoile ou triangle

La tension doit être:

- appliquée avec un niveau inférieur ou égal au tiers de U_2 ;
- augmentée jusqu’à $1,1 U_m / \sqrt{3}$ et maintenue pendant une durée de 5 min;
- augmentée, jusqu’à U_2 et maintenue pendant une durée de 5 min;
- augmentée jusqu’à U_1 et maintenue pour une durée d’essai spécifiée en 12.1;
- immédiatement après réduite jusqu’à U_2 et maintenue à cette valeur pour une durée d’au moins 60 min lorsque $U_m \geq 300$ kV ou pour une durée de 30 min lorsque $U_m < 300$ kV pour mesurer le niveau des décharges partielles;
- réduite à $1,1 U_m / \sqrt{3}$ et maintenue pour une durée de cinq min;
- ensuite réduite à une valeur inférieure au tiers de U_2 puis coupée.

La durée de l’essai, mis à part pour le niveau majoré U_1 , doit être indépendante de la fréquence d’essai.



- A = 5 min
- B = 5 min
- C = durée d’essai
- D = 60 min pour $U_m \geq 300$ kV ou 30 min pour $U_m < 300$ kV
- E = 5 min

Figure 4 – Séquence d’application de la tension d’essai pour les essais de tension induite en FI de longue durée (FI LD)

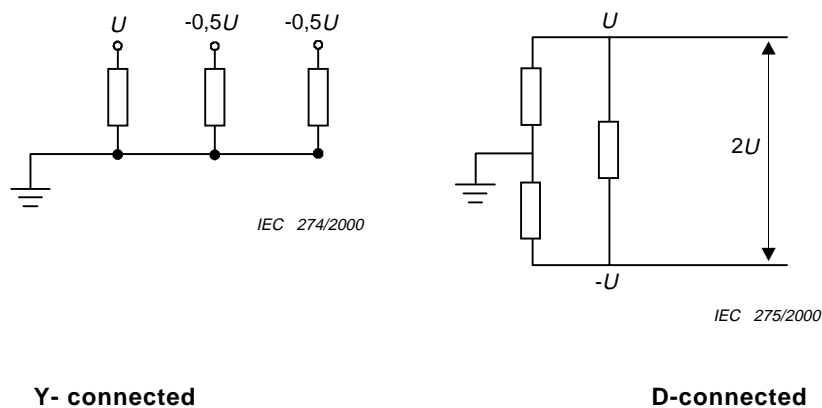
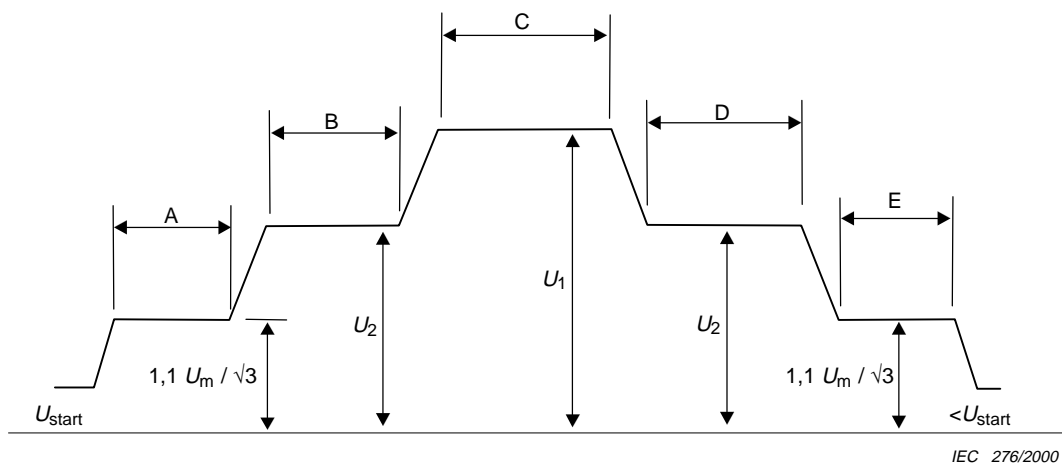


Figure 3 – Phase-by-phase test on Y- or D-connected three-phase transformers

The voltage shall be

- switched on at a level not higher than one-third of U_2 ;
- raised to $1,1 U_m / \sqrt{3}$ and held there for a duration of 5 min;
- raised to U_2 and held there for a duration of 5 min;
- raised to U_1 , held there for the test time as stated in 12.1;
- immediately after the test time, reduced without interruption to U_2 and held there for a duration of at least 60 min when $U_m \geq 300$ kV or 30 min for $U_m < 300$ kV to measure partial discharges;
- reduced to $1,1 U_m / \sqrt{3}$ and held there for a duration of 5 min;
- reduced to a value below one-third of U_2 before switching off.

The duration of the test, except for the enhancement level U_1 , shall be independent of the test frequency.



- A = 5 min
- B = 5 min
- C = test time
- D = 60 min for $U_m \geq 300$ kV or 30 min for $U_m < 300$ kV
- E = 5 min

Figure 4 – Time sequence for the application of test voltage for induced AC long-duration tests (ACL D)

Pendant toute la durée d'application de la tension, les décharges partielles doivent être observées.

Les tensions par rapport à la terre doivent être:

$$U_1 = 1,7 U_m / \sqrt{3}$$

$$U_2 = 1,5 U_m / \sqrt{3}$$

NOTE Pour des conditions de réseau où les transformateurs sont sévèrement exposés aux surtensions, les valeurs de U_1 et U_2 peuvent être par exemple $1,8 U_m / \sqrt{3}$ et $1,6 U_m / \sqrt{3}$ respectivement. Cette exigence doit être clairement prescrite dans l'appel d'offre.

Le niveau de bruit de fond ne doit pas excéder 100 pC.

NOTE Il est recommandé que le niveau de bruit de fond soit très inférieur à 100 pC pour permettre la détection et l'enregistrement d'éventuelles apparitions et extinction des décharges partielles. La valeur mentionnée ci-dessus de 100 pC à $1,1 U_m / \sqrt{3}$ est un compromis pour l'acceptation de l'essai.

Les décharges partielles doivent être observées et mesurées comme indiqué ci-dessous. Des renseignements complémentaires sont donnés dans l'annexe A, qui se réfère elle-même à la CEI 60270.

- Les mesures doivent être effectuées aux bornes de ligne de tous les enroulements à isolation non uniforme, ce qui signifie que les bornes des lignes haute et basse tension d'un autotransformateur à deux enroulements auto-connectés sont mesurées simultanément.
- La voie de mesure reliée à chaque borne utilisée doit être étalonnée avec des impulsions répétitives injectées entre cette borne et la terre. Cet étalonnage est utilisé pour l'évaluation des lectures pendant l'essai. La charge apparente mesurée à une borne spécifique du transformateur, à l'aide de l'étalonnage approprié, doit faire référence à la plus grande valeur stable des impulsions répétitives. Il convient de négliger les pointes élevées de décharges partielles se produisant occasionnellement. Les décharges continues pour n'importe quelle durée apparaissant à intervalle irrégulier peuvent être acceptées jusqu'à 500 pC sous réserve qu'il n'y ait pas une tendance régulière à la croissance continue.
- Avant et après chaque application de la tension d'essai, le niveau de bruit de fond doit être noté pour chaque voie de mesure.
- Pendant l'augmentation de la tension jusqu'à U_2 et sa diminution à partir de U_2 il convient de noter les éventuelles tensions d'apparition et d'extinction des décharges partielles. Une mesure de la charge apparente doit être faite à $1,1 U_m / \sqrt{3}$.
- Une lecture doit être faite et notée pendant la première période à la tension U_2 . Aucune valeur de charge apparente n'est spécifiée pour cette période.
- Aucune valeur de charge apparente n'est attribuée pour l'application de U_1 .
- Pendant toute la durée de la deuxième période à la tension U_2 , le niveau des décharges partielles doit être observé en permanence, et des mesures doivent être effectuées et enregistrées toutes les 5 min.

L'essai est satisfaisant si:

- il n'y a pas effondrement de la tension d'essai;
- le niveau permanent des décharges partielles reste inférieur à 500 pC pendant l'essai de longue durée à U_2 ;
- l'évolution des décharges partielles ne montre pas une tendance à la croissance continue à la tension U_2 . Il convient de négliger les pointes élevées de décharges partielles se produisant occasionnellement;

NOTE La pratique nord-américaine limite la variation permise pendant l'essai à 150 pC pour signaler de possibles problèmes internes.

- le niveau continu des décharges partielles reste inférieure à 100 pC à $1,1 U_m / \sqrt{3}$.

During the whole application of the test voltage, partial discharges shall be monitored.

The voltages to earth shall be:

$$U_1 = 1,7 U_m / \sqrt{3}$$

$$U_2 = 1,5 U_m / \sqrt{3}$$

NOTE For network conditions where transformers are severely exposed to overvoltages, values for U_1 and U_2 can be $1,8 U_m / \sqrt{3}$ and $1,6 U_m / \sqrt{3}$ respectively. This requirement shall be clearly stated in the enquiry.

The background noise level shall not exceed 100 pC.

NOTE It is recommended that the background noise level should be considerably lower than 100 pC in order to insure that any inception and extinction of partial discharges can be detected and recorded. The above-mentioned value of 100 pC at $1,1 U_m / \sqrt{3}$ is a compromise for the acceptance of the test.

The partial discharges shall be observed and evaluated as follows. Further information may be obtained from annex A, which, in turn, refers to IEC 60270.

- Measurements shall be carried out at the line terminals of all non-uniformly insulated windings, which means that the higher and lower voltage line terminals of an auto-connected pair of windings will be measured simultaneously.
- The measuring channel from each terminal used shall be calibrated with repetitive impulses between the terminal and earth, and this calibration is used for the evaluation of readings during the test. The apparent charge measured at a specific terminal of the transformer, using the appropriate calibration, shall refer to the highest steady-state repetitive impulses. Occasional bursts of high partial discharge level should be disregarded. Continuous discharges for any length of time occurring at irregular intervals can be accepted up to 500 pC, provided there is no steadily increasing tendency.
- Before and after the application of test voltage, the background noise level shall be recorded on all measuring channels.
- During the raising of voltage up to level U_2 and reduction from U_2 down again, possible inception and extinction voltages should be noted. Measurement of the apparent charge shall be taken at $1,1 U_m / \sqrt{3}$.
- A reading shall be taken and noted during the first period at voltage U_2 . No apparent charge values are specified for this period.
- No values of apparent charge are assigned to the application of U_1 .
- During the whole of the second period at voltage U_2 , the partial discharge level shall be continuously observed and readings shall be recorded every 5 min.

The test is successful if

- no collapse of the test voltage occurs;
- the continuous level of partial discharges does not exceed 500 pC during the long duration test at U_2 ;
- the partial discharge behaviour shows no continuously rising tendency at U_2 . Occasional high bursts of non-sustained nature should be disregarded;

NOTE North American practice limits the allowable change during the test to 150 pC to recognize possible internal problems.

- the continuous level of apparent charges does not exceed 100 pC at $1,1 U_m / \sqrt{3}$.

Pour autant qu'il ne se produise pas de claquage ou que de très grandes décharges partielles ne soient pas maintenues pendant une longue durée, l'essai est considéré comme non destructif. Le non respect du critère d'acceptation relatif au niveau des décharges partielles ne doit donc pas autoriser un refus immédiat mais doit conduire à une concertation entre acheteur et fournisseur à propos d'investigations complémentaires. Des suggestions pour de telles investigations sont données dans l'annexe A.

En ce qui concerne les difficultés qui peuvent être provoquées par les traversées pendant l'essai, voir également l'article 4.

13 Essai au choc de foudre (CF)

13.1 Généralités

Lorsqu'ils sont spécifiés, les essais aux chocs de foudre (CF) doivent être seulement exécutés sur des enroulements dont toutes les extrémités sont sorties à travers la cuve ou le couvercle du transformateur.

Les définitions générales relatives aux essais de choc, les prescriptions relatives aux circuits d'essai, la détermination des performances d'essai et des contrôles périodiques sur les dispositifs de mesure approuvés peuvent être trouvés dans la CEI 60060-1. De plus amples informations sont données dans la CEI 60722.

Pour les transformateurs immergés dans l'huile, la tension d'essai est normalement de polarité négative, parce que cela réduit le risque de claquage extérieur aléatoire dans le circuit d'essai.

Les éclateurs de traversée peuvent être enlevés ou leur écartement augmenté pour éviter un amorçage pendant l'essai.

Lorsque des éléments non linéaires ou des parafoudres – placés à l'intérieur ou à l'extérieur du transformateur – sont utilisés pour limiter les surtensions transmises, la procédure d'essai au choc doit être discutée à l'avance pour chaque cas particulier. Si de tels éléments sont en place pendant l'essai, l'évaluation des enregistrements d'essai (voir 13.5) peut être différente par comparaison avec l'essai au choc de foudre normal. Par leur nature, les dispositifs de protection non linéaires connectés le long des enroulements peuvent entraîner des différences entre les oscillogrammes de l'onde de choc réduite et de l'onde de choc pleine. Pour apporter la preuve que ces différences sont en fait provoquées par le fonctionnement de ces dispositifs, il convient de le démontrer par l'exécution de plusieurs essais de choc réduits à différents niveaux d'essai pour montrer l'évolution dans leur fonctionnement. Pour montrer la réversibilité des effets de ces dispositifs non linéaires, les mêmes ondes de choc réduites doivent suivre l'onde de choc pleine en sens inverse.

EXEMPLE 60 %, 80 %, 100 %, 80 %, 60 %.

Le choc appliqué lors de l'essai doit être un choc de foudre plein normalisé: $1,2 \mu\text{s} \pm 30 \%$ / $50 \mu\text{s} \pm 20 \%$.

Il y a des cas cependant, où cette forme de choc normalisée ne peut raisonnablement pas être obtenue, à cause de la faible inductance des enroulements ou d'une forte capacité par rapport à la terre. La forme du choc qui en résulte est alors souvent oscillante. De plus larges tolérances peuvent, dans de tels cas, être autorisées par accord entre les parties. Voir la CEI 60722.

As long as no breakdown occurs, and unless very high partial discharges are sustained for a long time, the test is regarded as non-destructive. A failure to meet the partial discharge acceptance criteria shall therefore not warrant immediate rejection, but lead to consultation between purchaser and supplier about further investigations. Suggestions for such procedures are given in annex A.

Concerning difficulties with bushings during the test, see also clause 4.

13 Lightning impulse (LI) test

13.1 General

When required, lightning impulse (LI) tests shall only be made on windings that have terminals brought out through the transformer tank or cover.

General definitions of terms related to impulse tests, requirements for test circuits, performance tests and routine checks on approved measuring devices may be found in IEC 60060-1. Further information is given in IEC 60722.

For oil-immersed transformers, the test voltage is normally of negative polarity, because this reduces the risk of erratic external flashovers in the test circuit.

Bushing spark gaps may be removed or their spacing increased to prevent sparkover during the test.

When non-linear elements or surge diverters – built into the transformer or external – are installed for the limitation of transferred overvoltage transients, the impulse test procedure shall be discussed in advance for each particular case. If such elements are present during the test, the evaluation of test records (see 13.5) may be different compared to the normal impulse test. By their very nature, non-linear protective devices connected across the windings may cause differences between the reduced full wave and the full-wave impulse oscillograms. To prove that these differences are indeed caused by operation of these devices this, should be demonstrated by making two or more reduced full-wave impulse tests at different voltage levels to show the trend in their operation. To show the reversibility of any non-linear effects, the same reduced full-wave impulses shall follow up the full-wave test voltage in a reversed way.

EXAMPLE 60 %, 80 %, 100 %, 80 %, 60 %.

The test impulse shall be a full standard lightning impulse: $1,2 \mu\text{s} \pm 30 \%$ / $50 \mu\text{s} \pm 20 \%$.

There are cases, however, where this standard impulse shape cannot reasonably be obtained, because of low winding inductance or high capacitance to earth. The resulting impulse shape is then often oscillatory. Wider tolerances may, in such cases, be accepted by agreement between purchaser and supplier. See IEC 60722.

Le problème de la forme du choc peut aussi être résolu en utilisant certaines variantes dans les modalités de mise à la terre, voir 13.3.

Le circuit de choc et les connexions de mesure doivent rester inchangés pendant l'étalonnage et les essais à pleine tension.

NOTE Les informations données dans la CEI 60722 en référence à l'évaluation de la forme d'onde sont fondées sur des enregistrements oscillographiques, des règles de conception et des évaluations visuelles des paramètres de forme d'onde. Avec l'emploi des enregistrements digitaux suivant la CEI 61083-1 et la CEI 61083-2 lors des essais de choc haute tension des transformateurs de puissance, il convient de porter une attention particulière à l'évaluation des paramètres temporels et d'amplitude des formes d'ondes non standards.

En particulier pendant l'essai des enroulements de grande puissance assignée et de basse tension, avec des ondes de choc monopolaires résultantes comportant des fréquences inférieures à 0,5 MHz, la CEI 61083-2 n'est pas applicable pour l'évaluation de l'amplitude de telles ondes anormales. Des erreurs supérieures à 10 % ont été observées, dues aux algorithmes de lissage des courbes intégrés dans les digitaliseurs.

Dans de tels cas, une évaluation soignée, par un spécialiste, des données brutes mesurées est requise. En parallèle, une mesure par un voltmètre de crête suivant la CEI 60790 de la tension de crête est hautement recommandée.

13.2 Séquence d'essai

La séquence d'essai doit comporter un choc d'une tension comprise entre 50 % et 75 % de la pleine tension d'essai, puis trois chocs à la pleine tension. Si, au cours d'une de ces applications, un claquage extérieur se produit dans le circuit ou le long d'un éclateur de traversée, ou si le dispositif d'enregistrement oscillographique est déficient sur l'une des voies de mesure spécifiées, on ne doit pas considérer cette application et on doit faire une nouvelle application.

NOTE Des chocs supplémentaires ≤ 50 % peuvent être effectués, mais il n'est pas nécessaire de les faire figurer dans le compte-rendu des essais.

13.3 Connexions d'essais

13.3.1 Connexions d'essais pendant les essais sur les bornes de ligne

La séquence d'essais au choc est appliquée successivement à chacune des bornes de ligne de l'enroulement essayé. Dans le cas d'un transformateur triphasé, les autres bornes de ligne de l'enroulement doivent être reliées directement à la terre ou à travers une faible impédance n'excédant pas l'impédance d'onde de la ligne connectée.

Si l'enroulement dispose d'une borne de neutre, le neutre doit être relié à la terre directement ou à travers une faible impédance telle qu'un shunt de mesure du courant. La cuve doit être reliée à la terre.

Pour les transformateurs à enroulements séparés, les bornes des enroulements non soumis à l'essai sont également reliées à la terre directement ou à travers des impédances telles que dans tous les cas la tension apparaissant à ces bornes reste inférieure à 75 % de leur tension de tenue assignée au choc pour les enroulements à couplage étoile et à 50 % pour les enroulements à couplage triangle.

Lors des essais sur les bornes de ligne de l'enroulement haute tension d'un autotransformateur, il peut arriver qu'il ne soit pas possible d'obtenir raisonnablement la forme normalisée du choc lorsque les bornes de ligne de l'enroulement commun sont reliées à la terre directement ou à travers un shunt de mesure de courant. Il en est de même pour l'essai des bornes de ligne de l'enroulement commun si les bornes de ligne de l'enroulement haute tension sont reliées à la terre. Il est alors permis de relier les bornes de ligne non essayées à la terre à travers des résistances $\leq 400 \Omega$. Il convient de plus que les tensions apparaissant sur les bornes de ligne non soumises à l'essai ne dépassent pas 75 % de leur niveau de tension assignée de tenue au choc de foudre pour les enroulements à couplage étoile et 50 % pour les enroulements à couplage triangle.

The impulse shape problem may also be treated by alternative methods of earthing during the test, see 13.3.

The impulse circuit and measuring connections shall remain unchanged during calibration and full voltage tests.

NOTE The information given in IEC 60722 with reference to waveshape evaluation is based on oscilloscopic records, engineering rules and eye evaluation of waveshape parameters. With the application of digital recorders according to IEC 61083-1 and IEC 61083-2 in high-voltage impulse testing of power transformers, a clear warning with respect to amplitude and time parameters should be given with respect to the evaluation of non-standard waveshapes.

In particular, when testing high power rated low-voltage windings with resulting unipolar overshoots with frequencies less than 0,5 MHz, IEC 61083-2 is not applicable for the amplitude evaluation of such non-standard waveshapes. Errors in excess of 10 % have been observed due to the built-in curve smoothing algorithms in the digitizers.

In such cases, careful evaluation of the raw data plots using engineering judgement is needed. A parallel measurement of the peak voltage by a peak voltmeter according to IEC 60790 is highly recommended.

13.2 Test sequence

The test sequence shall consist of one impulse of a voltage between 50 % and 75 % of the full test voltage, and three subsequent impulses at full voltage. If, during any of these applications, an external flashover in the circuit or across a bushing spark gap should occur, or if the oscillographic recording should fail on any of the specified measuring channels, that application shall be disregarded and a further application made.

NOTE Additional impulses at amplitudes not higher than 50 % may be used but need not be shown in the test report.

13.3 Test connections

13.3.1 Test connections during tests on line terminals

The impulse test sequence is applied to each of the line terminals of the tested winding in succession. In the case of a three-phase transformer, the other line terminals of the winding shall be earthed directly or through a low impedance, not exceeding the surge impedance of the connected line.

If the winding has a neutral terminal, the neutral shall be earthed directly or through a low impedance such as a current measuring shunt. The tank shall be earthed.

In the case of a separate winding transformer, terminals of windings not under test are likewise earthed directly or through impedances, so that in all circumstances, the voltage appearing at the terminals is limited to not more than 75 % of their rated lightning impulse withstand voltage for star-connected windings, and 50 % for delta-connected windings.

In the case of an auto-transformer, when testing the line terminals of the high-voltage winding, it may happen that the standard impulse wave-form cannot reasonably be obtained if the line terminals of the common winding are earthed directly or through a current measuring shunt. The same applies to the testing of the line terminals of the common winding if the line terminals of the high-voltage winding are earthed. It is then permissible to earth the non-tested line terminals through resistors not exceeding 400 Ω . Furthermore, the voltages appearing on the non-tested line terminals to earth should not exceed 75 % of their rated lightning impulse withstand voltage for star-connected windings and 50 % for delta-connected windings.

Lors de l'essai au choc d'enroulements ayant une faible impédance, il peut être difficile d'obtenir une forme d'onde correcte sur les bornes essayées. Dans ce cas, des tolérances plus larges doivent être acceptées, voir 13.1. Il est aussi possible de simplifier le problème par mise à la terre des bornes non essayées de la phase en essai à travers des résistances. La valeur de la résistance doit être choisie pour que la tension apparaissant aux bornes soit limitée à une valeur ≤ 75 % de la tension de tenue assignée au choc de foudre pour des enroulements à couplage étoile et à une valeur ≤ 50 % pour des enroulements à couplage triangle. En variante, on peut aussi, après accord au moment de la commande, employer la méthode de la surtension transmise, voir 13.3.3.

Des exceptions à cette procédure générale sont indiquées en 13.3.2 et en 13.3.3.

13.3.2 Essai au choc sur la borne neutre

Quand la borne neutre d'un enroulement a une tension de tenue assignée au choc, cela peut être contrôlé par un essai au choc tel que ci-dessous.

a) par application indirecte:

Les essais au choc sont appliqués sur n'importe laquelle des bornes de ligne ou sur toutes les bornes de ligne d'un enroulement triphasé reliées ensemble. La borne neutre est mise à la terre à travers une impédance ou est laissée ouverte, et l'amplitude de la tension développée le long de cette impédance ou vers la terre, lorsqu'un choc de foudre normal est appliqué à la borne de ligne, doit être égale à la tension de tenue assignée au choc de la borne de neutre. Aucune prescription n'est donnée pour la forme de l'onde résultante le long de cette impédance. L'amplitude de l'onde appliquée à la borne de ligne n'est pas prescrite, mais elle doit être ≤ 75 % de la tension de tenue assignée au choc de foudre de la borne de ligne.

b) par application directe:

Les ondes d'essai correspondant à la tension de tenue assignée au choc du neutre sont appliquées directement sur le neutre avec toutes les bornes de ligne reliées à la terre. Dans ce cas, cependant, une plus longue durée de front est permise, jusqu'à 13 μ s.

13.3.3 Méthode de la surtension transmise aux enroulements basse tension

Lorsque l'enroulement basse tension ne peut pas être soumis en service à des surtensions dues à la foudre à partir du réseau basse tension, par convention entre fournisseur et acheteur, cet enroulement peut être essayé au choc de foudre à partir des surtensions transmises par l'enroulement haute tension.

Cette méthode est aussi justifiée lorsque la conception du transformateur est telle qu'un choc appliqué directement à l'enroulement basse tension pourrait conduire à des contraintes qui ne se rencontrent pas dans la pratique sur les enroulements de tension plus élevée, en particulier lorsqu'il y a un enroulement à prises physiquement adjacent à l'enroulement basse tension.

Avec la méthode de la surtension transmise, les essais sur l'enroulement basse tension sont effectués en même temps que les essais de choc de l'enroulement adjacent à plus haute tension. Les bornes de ligne de l'enroulement basse tension sont reliées à la terre à travers des résistances dont la valeur est telle que l'amplitude de la tension de choc transmise entre une borne de ligne et la terre, ou entre les différentes bornes de ligne ou le long d'un enroulement de phase, soit la plus élevée possible sans excéder cependant la tension assignée de tenue au choc. L'amplitude des chocs appliqués ne doit pas être supérieure au niveau d'essai au choc de l'enroulement sur lequel les chocs sont appliqués.

Les détails de la procédure d'essai doivent faire l'objet d'un accord préalable.

When impulse testing windings with low impedances, it may be difficult to obtain correct impulse shape on the tested terminals. In this case wider tolerances have to be accepted, see 13.1. It is also possible to simplify the problem by earthing the non-tested terminals of the tested phase through resistors. The resistance value shall be chosen so that the voltage appearing on the terminals is limited to not more than 75 % of their rated lightning impulse withstand voltage for star-connected windings or 50 % for delta connected windings. Alternatively, by agreement at the time of placing the order the transferred surge method may be employed, see 13.3.3.

Exceptions from this main procedure are given in 13.3.2 and 13.3.3.

13.3.2 Impulse test on a neutral terminal

When the neutral terminal of a winding has a rated impulse withstand voltage, it may be verified by a test as follows:

a) by indirect application:

Test impulses are applied to any one of the line terminals or to all three line terminals of a three-phase winding connected together. The neutral terminal is connected to earth through an impedance or is left open, and the voltage amplitude developed across this impedance or to earth, when a standard lightning impulse is applied to the line terminal, shall be equal to the rated withstand voltage of the neutral terminal. No prescriptions are given for the shape of the resulting impulse across the impedance. The amplitude of the impulse applied to the line terminal is not prescribed, but shall not exceed 75 % of the rated lightning impulse withstand voltage of the line terminal.

b) by direct application:

Test impulses corresponding to the rated withstand voltage of the neutral are applied directly to the neutral with all line terminals earthed. In this case, however, a longer duration of the front time is allowed, up to 13 μ s.

13.3.3 The transferred surge method on low-voltage windings

When the low-voltage winding cannot be subjected to lightning overvoltages from the low-voltage system, this winding may, by agreement between supplier and purchaser, be impulse tested with surges transferred from the high-voltage winding.

This method is also to be preferred when the design is such that an impulse directly applied to the low-voltage winding could result in unrealistic stressing of higher voltage windings, particularly when there is a large tapping winding physically adjacent to the low-voltage winding.

With the transferred surge method, the tests on the low-voltage winding are carried out by applying the impulses to the adjacent higher voltage winding. The line terminals of the low-voltage winding are connected to earth through resistances of such value that the amplitude of transferred impulse voltage between line terminals and earth, or between different line terminals or across a phase winding, will be as high as possible but not exceeding the rated impulse withstand voltage. The magnitude of the applied impulses shall not exceed the impulse level of the winding to which the impulses are applied.

The details of the procedure shall be agreed before the test.

13.4 Enregistrements de l'essai

Les enregistrements oscillographiques ou digitaux obtenus pendant les étalonnages et pendant les essais doivent indiquer clairement la forme de la tension de choc appliquée (durée du front, durée jusqu'à la mi-valeur et amplitude).

L'enregistrement doit comporter au moins une voie supplémentaire de mesure. Dans la plupart des cas, un oscillogramme du courant s'écoulant de l'enroulement essayé vers la terre, (courant de neutre) ou le courant capacitif de preuve, c'est-à-dire le courant transféré à l'enroulement non essayé et en court-circuit, représenteront la meilleure sensibilité pour la détection des défauts. Le courant circulant de la cuve vers la terre ou la tension transmise à un enroulement non soumis à l'essai, sont des exemples d'autres grandeurs mesurables appropriées. La méthode de détection adoptée doit faire l'objet d'un accord entre fournisseur et acheteur.

Des recommandations supplémentaires concernant la détection des défauts, les vitesses de balayage convenables, etc. sont données dans la CEI 60722.

13.5 Sanction de l'essai

L'absence de différences significatives entre les tensions et les courants transitoires enregistrés à tension réduite et à pleine tension d'essai constitue une preuve que l'isolation a résisté à l'essai.

L'interprétation détaillée des enregistrements oscillographiques ou digitaux des essais et la discrimination entre les perturbations marginales et les véritables enregistrements de défaut requièrent une grande compétence et une grande expérience. Des renseignements complémentaires sont donnés dans la CEI 60722.

S'il y a un doute quant à l'interprétation de divergences éventuelles entre les enregistrements oscillographiques ou digitaux, trois chocs à pleine tension doivent à nouveau être appliqués, ou tout l'essai aux ondes de choc sur la borne doit être répété. L'essai doit être considéré comme satisfaisant si aucune autre déviation même à caractère progressif n'a été observée.

Des observations additionnelles pendant l'essai (phénomènes sonores anormaux, etc.) peuvent être utilisées pour confirmer l'interprétation des enregistrements oscillographiques ou digitaux, mais elles ne constituent pas une démonstration en elles-mêmes.

Une différence dans les formes d'onde entre l'onde pleine réduite et l'onde pleine finale détectée par comparaison entre les deux oscillogrammes de courant peut être l'indication d'un défaut ou de déviations dues à des causes non destructrices. Il convient que cela fasse l'objet d'une investigation complète et soit expliqué au moyen de l'application d'une nouvelle onde réduite et d'une nouvelle onde pleine. Des exemples de causes possibles de formes d'ondes différentes sont le fonctionnement de dispositifs de protection, la saturation du circuit magnétique, ou certaines conditions dans le circuit d'essai extérieur au transformateur.

14 Essai au choc de foudre coupé sur la queue (CFC)

14.1 Généralités

Cet essai est un essai spécial et il convient de l'utiliser pour des applications spéciales sur les bornes de ligne d'un enroulement. Lorsqu'il a été décidé d'effectuer cet essai, celui-ci doit être combiné avec l'essai au choc de foudre en onde pleine suivant la procédure décrite ci-dessous. La valeur de crête de l'onde coupée doit être 1,1 fois celle de l'onde pleine.

13.4 Records of test

The oscillographic or digital records obtained during calibrations and tests shall clearly show the applied voltage impulse shape (front time, time-to-half value and amplitude).

At least one more measurement channel shall be used. In most cases an oscillogram of the current flowing to earth from the tested winding (neutral current) or the capacitive probe current, i.e. the current transferred to the non-tested and shorted winding, will represent the best sensitivity for fault indication. The current flowing from tank to earth, or the transferred voltage in a non-tested winding, are examples of alternative suitable measuring quantities. The detection method chosen shall be agreed between supplier and purchaser.

Further recommendations about failure detection, suitable time-base durations, etc. are given in IEC 60722.

13.5 Test criteria

The absence of significant differences between voltage and current transients recorded at reduced voltage and those recorded at full test voltage constitutes evidence that the insulation has withstood the test.

The detailed interpretation of the oscillographic or digital test records and discrimination of marginal disturbances from true records of failure require a great deal of skill and experience. Further information is given in IEC 60722.

If there is doubt about the interpretation of possible discrepancies between oscillograms or digital records, three subsequent impulses at full voltage shall be applied, or the whole impulse test on the terminal shall be repeated. The test shall be considered successfully passed if no further and progressive deviations are observed.

Additional observations during the test (abnormal sound effects, etc.) may be used to confirm the interpretation of the oscillographic or digital records, but they do not constitute evidence in themselves.

Any difference in the wave shape between the reduced full wave and final full wave detected by comparison of the two current oscillograms may be indication of failure or deviations due to non-injurious causes. They should be fully investigated and explained by a new reduced wave and full-wave test. Examples of possible causes of different wave shapes are operation of protective devices, core saturation, or conditions in the test circuit external to the transformer.

14 Test with lightning impulse chopped on the tail (LIC)

14.1 General

The test is a special test and should be used for special applications on line terminals of a winding. When it has been agreed to make this test, it shall be combined with the full lightning impulse test in the manner described below. The peak value of the chopped impulse shall be 1,1 times the amplitude of full impulse.

Habituellement, les mêmes réglages du générateur de choc et le même dispositif de mesure sont utilisés en ajoutant seulement le dispositif éclateur. Le choc de foudre normal doit avoir une durée jusqu'à la coupure comprise entre 2 μ s et 6 μ s.

Des bases de temps différentes peuvent être mises en œuvre pour enregistrer les ondes de choc coupées sur la queue.

14.2 Eclateur de coupure et caractéristiques de la coupure

Il est recommandé d'utiliser un éclateur multiple à temps réglable, mais il est également permis d'utiliser un simple éclateur tige-tige. Le circuit de coupure doit être disposé de telle façon que l'amplitude de polarité opposée soit inférieure à 30 % de l'amplitude du choc coupé; l'insertion d'une impédance Z dans le circuit coupé est habituellement nécessaire pour maintenir cette limite.

14.3 Conduite et sanction de l'essai

Comme indiqué ci-dessus, l'essai est combiné avec l'essai au choc en onde pleine en une séquence unique. Il est recommandé de réaliser les différentes applications de choc de la manière suivante:

- un choc en onde pleine à niveau réduit;
- un choc en onde pleine à plein niveau;
- un ou plusieurs chocs en ondes coupées à niveau réduit;
- deux chocs en ondes coupées à plein niveau;
- deux chocs en onde pleine à plein niveau.

Les voies de mesure et les enregistrements oscillographiques ou digitaux sont du même type que ceux spécifiés pour l'essai de choc en onde pleine.

En principe, la détection des défauts au cours d'un essai de choc en onde coupée est essentiellement fondée sur la comparaison des enregistrements oscillographiques ou digitaux correspondant aux chocs en ondes coupées à 100 % et à niveau réduit. L'enregistrement du courant de neutre (ou tout autre enregistrement supplémentaire) présente une superposition de phénomènes transitoires dus au front du choc de l'onde initiale et à la coupure. Il convient alors de tenir compte des variations possibles, même légères, qui peuvent survenir jusqu'à la coupure. La deuxième partie du tracé oscillant est alors modifiée et cet effet est difficile à distinguer dans l'enregistrement d'un défaut. Les changements de fréquence après la coupure, cependant, nécessitent d'être clarifiés.

Les enregistrements des chocs successifs en onde pleine à 100 %, apportent une possibilité supplémentaire de détection d'un défaut, mais ils ne constituent pas en eux-mêmes un critère de qualité pour l'essai de choc en onde coupée.

15 Essai au choc de manœuvre (CM)

15.1 Généralités

Les définitions générales des termes relatifs aux essais au choc de manœuvre, les prescriptions relatives aux circuits d'essais, les performances d'essais et les contrôles périodiques concernant les dispositifs de mesure approuvés peuvent être trouvés dans la CEI 60060-1. D'autres informations sont données dans la CEI 60722.

Usually, the same settings of the impulse generator and measuring equipment are used, and only the chopping gap equipment is added. The standard chopped lightning impulse shall have a time to chopping between 2 μs and 6 μs .

Different time bases may be used to record lightning impulses chopped on the tail.

14.2 Chopping gap and characteristics of the chopping

It is recommended to use a triggered-type chopping gap with adjustable timing, although a plain rod-rod gap is allowed. The chopping circuit shall be so arranged that the amount of overswing to opposite polarity of the recorded impulse will be limited to not more than 30 % of the amplitude of the chopped impulse; the insertion of an impedance Z in the chopped circuit is usually necessary to maintain this limit.

14.3 Test sequence and test criteria

As indicated above, the test is combined with the full impulse test in a single sequence. The recommended order of the different impulse applications is:

- one reduced level full impulse;
- one full level full impulse;
- one or more reduced level chopped impulse(s);
- two full level chopped impulses;
- two full level full impulses.

The same types of measuring channels and oscillographic or digital records are specified as for the full-wave impulse test.

In principle, the detection of faults during a chopped impulse test depends essentially on a comparison of the oscillographic or digital records of the full level and reduced level chopped impulses. The neutral current record (or any other supplementary recording) presents a superposition of transient phenomena due to the front of the original impulse and from the chopping. Account should therefore be taken of the possible variations, even slight, of the chopping time delay. The later part of the oscillation pattern is then modified, and this effect is difficult to separate from the record of a fault. Frequency changes after the chopping, however, need to be clarified.

The recordings of successive full impulse tests at full level constitute a supplementary criterion of a fault, but they do not constitute in themselves a quality criterion for the chopped impulse test.

15 Switching impulse test (SI)

15.1 General

General definitions of terms related to impulse tests, requirements on test circuits, performance tests and routine checks on approved measuring devices, may be found in IEC 60060-1. Further information is given in IEC 60722.

Les chocs doivent être appliqués soit directement à partir de la source de tension de choc à une borne de ligne de l'enroulement en essai, soit par l'intermédiaire d'un enroulement à plus basse tension, pour que la tension d'essai soit transmise inductivement à l'enroulement en essai. La tension d'essai spécifiée doit apparaître entre les bornes ligne et neutre. Les bornes de neutres doivent être rigidement reliées à la terre. Dans un transformateur triphasé, la tension développée pendant l'essai entre les bornes de ligne doit être environ 1,5 fois la tension entre borne de ligne et borne de neutre, voir 15.3.

La tension d'essai doit être normalement de polarité négative pour réduire le risque d'un claquage extérieur aléatoire dans le circuit d'essai.

Les tensions développées le long des différents enroulements du transformateur sont approximativement proportionnelles au rapport des nombres de spires et la tension d'essai doit être déterminée par l'enroulement ayant la plus grande valeur de U_m , voir article 6.

La tension de choc doit avoir un temps de front virtuel d'au moins 100 μ s, une durée de la tension au-dessus de 90 % de l'amplitude spécifiée d'au moins 200 μ s, et une durée totale depuis l'origine virtuelle jusqu'au premier passage par zéro d'au moins 500 μ s, la valeur de 1 000 μ s est jugée préférable.

NOTE La forme du choc diffère à dessein de la forme de l'onde normalisée 250/2 500 μ s recommandée dans la CEI 60060-1, norme valable pour les équipements comportant des circuits magnétiques non saturables.

Le temps de front doit être choisi par le fournisseur pour que la répartition de tension le long de l'enroulement en essai soit essentiellement linéaire. Sa valeur est usuellement plus grande que 100 μ s mais inférieure à 250 μ s. Pendant l'essai, un flux important est développé dans le circuit magnétique. La tension de choc peut être maintenue jusqu'à ce que le circuit magnétique atteigne la saturation et que l'impédance magnétisante du transformateur soit considérablement réduite.

La durée maximum possible du choc peut être augmentée par l'introduction d'une polarité rémanente opposée avec chaque essai de choc à la pleine tension. Cela est obtenu par des chocs à tension réduite de forme identique mais de polarité opposée. Voir la CEI 60722.

Un avis est donné dans l'article 8 pour le choix de la prise.

15.2 Séquence d'essais et enregistrements

La séquence d'essai doit être composée d'un choc (d'étalonnage) à une tension comprise entre 50 % et 75 % de la pleine tension d'essai, puis de trois chocs à la pleine tension. Si le dispositif d'enregistrement oscillographique ou digital est déficient, on ne tient pas compte de l'essai correspondant et un nouveau choc est appliqué. On doit obtenir des enregistrements oscillographiques ou digitaux au moins en ce qui concerne la forme de la tension de choc sur la borne de la ligne en essai et de préférence du courant de neutre.

NOTE Par suite de l'influence de la saturation du circuit magnétique sur la durée du choc, les oscillogrammes successifs sont différents et les enregistrements des essais à plein niveau et à niveau réduit ne sont pas identiques. Pour limiter cette influence, après chaque essai de choc à des niveaux identiques, des chocs démagnétisants à niveau réduit de polarité opposée sont nécessaires.

15.3 Connexions d'essai

Pendant l'essai le transformateur doit être à vide. Les enroulements non utilisés pour l'essai doivent être rigidement mis à la terre en un point mais non court-circuités. Dans le cas d'un transformateur monophasé, la borne neutre de l'enroulement essayé doit être rigidement mise à la terre.

The impulses are applied either directly from the impulse voltage source to a line terminal of the winding under test, or to a lower voltage winding so that the test voltage is inductively transferred to the winding under test. The specified test voltage shall appear between line and earth. Neutral terminals shall be earthed. In a three-phase transformer, the voltage developed between line terminals during the test shall be approximately 1,5 times the voltage between line and neutral terminals, see 15.3.

The test voltage is normally of negative polarity to reduce the risk of erratic external flashover in the test circuit.

The voltages developed across different windings of the transformer are approximately proportional to the ratio of numbers of turns and the test voltage will be determined by the winding with the highest U_m value, see clause 6.

The voltage impulse shall have a virtual front time of at least 100 μs , a time above 90 % of the specified amplitude of at least 200 μs , and a total duration from the virtual origin to the first zero passage at least 500 μs but preferably 1 000 μs .

NOTE The impulse wave shape is purposely different from the standard waveshape of 250/2 500 μs recommended in IEC 60060-1, since IEC 60060-1 is valid for non-saturable magnetic circuit equipment.

The front time shall be selected by the supplier so that the voltage distribution along the winding under test will be essentially linear. Its value is usually greater than 100 μs but less than 250 μs . During the test considerable flux is developed in the magnetic circuit. The impulse voltage can be sustained up to the instant when the core reaches saturation and the magnetizing impedance of the transformer becomes drastically reduced.

The maximum possible impulse duration can be increased by introducing remanence of opposite polarity before each full-voltage test impulse. This is accomplished by lower voltage impulses of similar shape but opposite polarity. See IEC 60722.

Advice for the selection of tap position is given in clause 8.

15.2 Test sequence and records

The test sequence shall consist of one impulse (calibration impulse) of a voltage between 50 % and 75 % of the full test voltage and three subsequent impulses at full voltage. If the oscillographic or digital recording should fail, that application shall be disregarded and a further application made. Oscillographic or digital records shall be obtained of at least the impulse wave-shape on the line terminal under test and preferably the neutral current.

NOTE Due to the influence of magnetic saturation on impulse duration, successive oscillograms are different and reduced and full level test recordings are not identical. To limit this influence, after each test impulse at identical test levels, demagnetizing impulses at reduced level of opposite polarity are required.

15.3 Test connections

During the test the transformer shall be in a no-load condition. Windings not used for the test shall be solidly earthed at one point but not short-circuited. For a single-phase transformer, the neutral terminal of the tested winding shall be solidly earthed.

Un enroulement triphasé doit être essayé phase par phase avec la borne neutre rigidement mise à la terre et avec le transformateur connecté de telle manière qu'une tension de polarité opposée et d'amplitude environ moitié apparaisse sur les deux autres bornes qui peuvent être reliées ensemble.

Pour limiter la tension de polarité opposée à environ 50 % du niveau appliqué, il est recommandé de connecter des résistances d'amortissement de forte valeur ohmique (10 k Ω à 20 k Ω) entre la terre et les bornes de phase non soumises à l'essai.

Les éclateurs de traversée et les moyens supplémentaires pour la limitation des surtensions doivent être traités comme spécifié pour l'essai aux ondes de choc, voir 13.1.

15.4 Sanction de l'essai

L'essai est satisfaisant s'il ne se produit pas d'effondrement brusque de la tension ou de discontinuité du courant de neutre indiquée sur les enregistrements oscillographiques ou digitaux.

D'autres observations réalisées pendant l'essai (phénomènes sonores anormaux, etc.) peuvent être utilisées pour confirmer les enregistrements oscillographiques, mais elles ne constituent pas des preuves en elles-mêmes.

16 Distances d'isolement dans l'air

16.1 Généralités

On entend par distances d'isolement dans l'air les distances où le champ électrostatique n'est pas perturbé par les isolateurs des traversées. Cette norme ne traite pas des exigences relatives à la ligne de fuite ou à la distance d'amorçage le long des isolateurs de traversée. Elle ne prend pas non plus en compte le risque de pénétration d'oiseaux ou d'autres animaux.

Pour l'établissement des exigences de la présente norme relatives aux niveaux de tension les plus élevés, on a considéré que les extrémités des traversées avaient normalement une forme d'électrode arrondie.

Les distances d'isolement spécifiées sont valables pour de telles électrodes arrondies. On suppose également que les pièces de fixation des conducteurs et les écrans de répartition de tension associés ont une forme telle qu'ils ne réduisent pas la tension d'amorçage. On suppose également que la disposition des arrivées de conducteurs ne réduit pas les distances d'isolement même au niveau du transformateur.

NOTE Lorsque l'acheteur envisage de réaliser son raccordement de telle sorte que la distance d'isolement effective risque d'être réduite, il convient d'en faire mention dans l'appel d'offre.

En général, la disposition de distances d'isolement dans l'air adéquates devient techniquement difficile pour les réseaux à haute tension, en particulier pour les unités relativement petites, ou quand l'espace disponible est restreint. Le principe suivi dans la présente norme est de proposer les distances minimales non critiques qui sont suffisantes, sans autre discussion ni justification, dans des conditions différentes de réseau et de climat. D'autres distances basées sur une pratique passée ou présente doivent faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur.

A three-phase winding shall be tested phase by phase with the neutral terminal earthed and with the transformer so connected that a voltage of opposite polarity and about half amplitude appears on the two remaining line terminals which may be connected together.

To limit the voltage of opposite polarity to approximately 50 % of the applied level, it is recommended to connect high ohmic damping resistors (10 k Ω to 20 k Ω) to earth at the non-tested phase terminals.

Bushing spark gaps and additional means for limitation of overvoltages are treated as specified for the lightning impulse test, see 13.1.

15.4 Test criteria

The test is successful if there is no sudden collapse of voltage or discontinuity of the neutral current indicated on the oscillographic or digital records.

Additional observations during the test (abnormal sound effects, etc.) may be used to confirm the oscillographic records, but they do not constitute evidence in themselves.

16 External clearances in air

16.1 General

Clearances in air are understood as distances where the electrostatic field is free of disturbance by insulator bodies. This standard does not deal with the requirements of effective flashover distance or creepage distance along the bushing insulators nor does it consider the risk from intrusion of birds and other animals.

When establishing the requirements of the present standard in the higher voltage ranges, it has been recognized that the bushing ends have normally rounded electrode shapes.

The clearance requirements are valid between such rounded electrodes. It is assumed that conductor clamps with their associated shield electrodes are suitably shaped so that they do not reduce the flashover voltage. It is also assumed that the arrangement of incoming conductors does not reduce the effective clearances provided by the transformer itself.

NOTE If the purchaser intends to make his connection in a particular way which is likely to reduce the effective clearances, this should be mentioned in the enquiry.

In general, the provision of adequate clearances in air becomes technically difficult mainly at high system voltages, particularly for relatively small units, or when the installation space is restricted. The principle followed in this standard is to provide minimum, non-critical clearances which are satisfactory without further discussion or proof under various system conditions and in different climates. Other clearances based on past or current practice shall be subject to agreement between purchaser and supplier.

Les distances d'isolement recommandées se réfèrent aux niveaux de tension de tenue assignée de l'isolation interne du transformateur sauf convention différente spécifiée lors de l'appel d'offre et lors de la commande. Lorsque les distances d'isolement du transformateur sont égales ou supérieures aux valeurs spécifiées dans la présente norme et que les grandeurs assignées associées aux traversées ont été correctement choisies suivant la CEI 60137, l'isolation externe du transformateur doit être considérée comme satisfaisante sans essai complémentaire.

NOTE 1 La tenue aux ondes de choc de l'isolation externe dépend de la polarité, contrairement à ce qui est admis pour l'isolation interne. Les essais prescrits pour l'isolation interne du transformateur ne permettent pas de vérifier automatiquement que l'isolation externe est satisfaisante. Les distances d'isolement recommandées sont dimensionnées pour la polarité la plus contraignante (positive).

NOTE 2 Il est admis que dans certains pays, les distances d'isolement peuvent être différentes si elles sont fondées sur les valeurs de tenue en CF et en FI seulement.

NOTE 3 si une distance d'isolement plus faible que celle conforme à l'alinéa ci-dessus a été utilisée pour un contrat, un essai de type peut être nécessaire sur un arrangement simulant la distance réelle, ou sur le transformateur lui-même. Des procédures d'essai sont données pour de tels cas.

Si le transformateur est spécifié pour être mis en service à une altitude supérieure à 1 000 m, les distances d'isolement requises doivent être augmentées de 1 % tous les 100 m au-delà de 1 000 m.

Les prescriptions s'appliquent pour les distances d'isolement suivantes:

- distance d'isolement phase-terre et phase-neutre,
- distance d'isolement entre phases d'un même enroulement,
- distance d'isolement entre une borne de ligne de l'enroulement haute tension et une borne de ligne d'un enroulement à tension inférieure.

De ce qui précède, il s'ensuit que les valeurs recommandées sont en fait des valeurs minimales. Les distances d'isolement définies lors de la conception doivent être précisées sur le plan d'encombrement. Ce sont des valeurs assignées auxquelles s'appliquent les tolérances normales de fabrication et elles doivent être choisies pour que les distances d'isolement réelles soient au moins égales à celles spécifiées.

Ces spécifications serviront à prouver que le transformateur est bien conforme aux recommandations de la présente norme, ou à d'autres valeurs modifiées qui peuvent avoir fait l'objet d'un accord pour un contrat particulier.

16.2 Distances d'isolement dans l'air des traversées spécifiées à partir des tensions de tenue de l'isolation du transformateur

Les exigences précisées ci-dessous sont fonction de la valeur de la tension U_m de l'enroulement.

16.2.1 $U_m \leq 170$ kV

La même distance doit s'appliquer aux distances d'isolement phase-terre, phase-neutre, entre phases et par rapport aux bornes d'un enroulement à tension inférieure.

Les distances d'isolement minimum recommandées sont données par les tableaux 5 et 6 à partir des valeurs des tensions de tenue assignées qui apparaissent dans les tableaux 2 et 3.

The recommended clearances are referred to the rated withstand voltages of the internal insulation of the transformer, unless otherwise specified in the enquiry and order. When the clearances of the transformer are equal to or larger than the values specified in this standard and the bushings have properly selected ratings according to IEC 60137, then the external insulation of the transformer shall be regarded as satisfactory without further testing.

NOTE 1 The impulse withstand strength of the external insulation is polarity dependant, in contrast to what is assumed for the internal insulation. The tests prescribed for the internal insulation of the transformer do not automatically verify that the external insulation is satisfactory. The recommended clearances are dimensioned for the more onerous polarity (positive).

NOTE 2 It is recognized that in some countries, clearances may be different if based on LI and AC withstand voltages only.

NOTE 3 If a clearance smaller than that according to the paragraph above has been used for a contract, a type test may be required on an arrangement simulating the actual clearance, or on the transformer itself. Recommended test procedures for such cases are given.

If the transformer is specified for operation at an altitude higher than 1 000 m, the clearance requirements shall be increased by 1 % for every 100 m by which the altitude exceeds 1 000 m.

Requirements are given for the following clearances:

- clearance phase-to-earth and phase-to-neutral;
- clearance phase-to-phase between phases of the same winding;
- clearance between a line terminal of the high voltage winding and a line terminal of a lower voltage winding.

It follows from the above that the recommended values are in effect minimum values. The design clearances shall be stated on the outline drawing. These are nominal values subject to normal manufacturing tolerances and they have to be selected so that the actual clearances will be at least equal to the specified values.

These statements shall be taken as proof that the transformer complies with the recommendations of this standard, or with the modified values which may have been agreed for the particular contract.

16.2 Bushing clearance requirements as determined by transformer insulation withstand voltages

The requirements are formulated as described below, depending on the U_m voltage value of the winding.

16.2.1 $U_m \leq 170$ kV

The same distance shall apply for clearances phase-to-earth, phase-to-neutral, phase-to-phase, and towards terminals of a lower voltage winding.

The recommended minimum clearances are given in tables 5 and 6 with reference to the rated withstand voltages which appear in tables 2 and 3.

Si un essai de type pour une distance réduite est nécessaire, il doit s'agir d'un essai de choc de foudre, à sec, avec onde de polarité positive, trois choix de tension d'essai définie par les tableaux 5 ou 6 respectivement.

NOTE Comme indiqué par le tableau 2, plusieurs valeurs réduites de tension de tenue au choc de foudre peuvent être spécifiées suivant la CEI 60071-1. Il convient d'effectuer un contrôle montrant si cette condition nécessite une distance d'isolement entre phases.

16.2.2 $U_m > 170$ kV

Pour le matériel avec $U_m > 170$ kV où l'essai au choc de manœuvre est spécifié, les distances recommandées sont données par le tableau 7.

Il est admis que les exigences concernant l'isolation externe sont les mêmes quelles que soient les modalités de l'essai de tension de tenue en FI de courte durée (FI CD) suivant les valeurs données par le tableau 4.

L'isolation interne est vérifiée par un essai au choc de manœuvre de polarité négative sur la phase en essai et avec environ 1,5 fois la tension d'essai entre phases pour les transformateurs triphasés, voir la CEI 60071-1.

Pour l'isolation externe, la tension de tenue entre phases est définie de manière différente. La procédure d'essai appropriée implique des ondes de polarité positive pour une configuration phase-terre, et des chocs de polarité opposée pour les distances d'isolement entre phases, voir 16.2.2.3. C'est sur cette base qu'ont été définies les valeurs des distances d'isolement données au tableau 7.

16.2.2.1 Distances d'isolement phase-terre, phase-neutre et entre phases d'un même enroulement

La distance d'isolement de la tête de la traversée haute tension à la terre (cuve, conservateur, installation de réfrigération, structures métalliques d'environnement, etc.) ou à la borne de neutre est déterminée à la colonne 4 du tableau 7.

La distance d'isolement entre les têtes de traversées des différentes phases est déterminée à la colonne 5 du tableau 7.

16.2.2.2 Distance d'isolement entre bornes d'enroulements différents

La distance d'isolement entre bornes d'enroulements différents du transformateur doit être contrôlée à la fois par les conditions au choc de manœuvre et par les conditions au choc de foudre.

Les exigences de tenue au choc de manœuvre sont fondées à partir du calcul de la différence de tension qui apparaît entre les deux bornes, voir article 15. Cette différence de tension détermine la distance d'isolement exigée par rapport au choc de manœuvre. La figure 6 est utilisée pour trouver la distance d'isolement recommandée si les bornes reçoivent des tensions de polarité opposée, le rapport entre les tensions qui apparaissent étant ≤ 2 . Dans les autres cas, la figure 5 est applicable.

NOTE En comparant les figures 5 et 6, on constate qu'une distance d'isolement entre phases supporte une différence de tension supérieure à la même distance en configuration phase-terre. La raison en est que dans la configuration entre phases les deux bornes sont supposées avoir une polarité opposée et le champ électrique maximal au voisinage de chacune d'elles (qui dépend en grande partie de la tension par rapport à la terre) est relativement faible. On suppose que les deux électrodes sont de forme arrondie.

If a type test on a reduced clearance is to be conducted this shall be a lightning impulse test, dry, with positive impulse, three shots, with the test voltage according to tables 5 or 6 respectively.

NOTE As indicated in table 2, some low lightning impulse withstand values can be specified according to IEC 60071-1. A check whether this condition requires a larger phase-to-phase clearance should be made.

16.2.2 $U_m > 170$ kV

For equipment with $U_m > 170$ kV where switching impulse testing is specified, the recommended clearances are given in table 7.

It is assumed that the requirements for external insulation are the same irrespective of the performance of the short-duration AC withstand voltage test according to the values given in table 4.

The internal insulation is verified by a switching impulse test with negative test voltage on the tested phase, and with approximately 1,5 times the test voltage between the phases on three-phase transformers, see IEC 60071-1.

For the external insulation the phase-to-phase withstand voltage is defined differently. An appropriate test procedure involves positive polarity impulses for a configuration phase-to-earth, and opposite polarity impulses for phase-to-phase clearances, see 16.2.2.3. This has been considered for the clearance values given in table 7.

16.2.2.1 Clearance phase-to-earth, phase-to-neutral, and phase-to-phase between phases of the same winding

The clearance from the high-voltage bushing top to earth (tank, conservator, cooling equipment, switchyard structures, etc.) or to the neutral terminal is determined from column 4 of table 7.

The clearance between bushing caps of different phases is determined from column 5 of table 7.

16.2.2.2 Clearance between terminals of different windings

The clearance between terminals of different windings of the transformer shall be checked with regard to both switching impulse and lightning impulse conditions.

The switching impulse withstand requirement is based on the calculated voltage difference which appears between the two terminals, see clause 15. This voltage difference determines the required clearance with regard to the switching impulse condition. Figure 6 is used to find the recommended clearance if the terminals receive opposite polarity voltages and the ratio between the appearing voltages is 2 or less. In other cases, figure 5 applies.

NOTE If figures 5 and 6 are compared, it appears that a phase-to-phase clearance withstands a higher voltage difference than the same distance would do in a phase-to-earth configuration. The reason is that in the phase-to-phase configuration the two terminals are supposed to have opposite polarity, and the maximum dielectric gradient at either of them (which is largely determined by the voltage to earth) is relatively lower. It is assumed also that the electrodes have a rounded shape.

La distance d'isolement doit, cependant, aussi satisfaire aux exigences de tenue au choc de foudre, ce qui implique que la borne de l'enroulement à tension plus basse est au potentiel de la terre lorsque la tension de tenue au choc est appliquée à la borne de ligne haute tension. Les prescriptions de distance d'isolement de la colonne 6 du tableau 7 et de la figure 7, relatives à cette tension assignée de tenue au choc de foudre, doivent donc être satisfaites entre les deux bornes. La plus grande des deux distances doit s'appliquer.

L'essai au choc de manœuvre des transformateurs triphasés induira des tensions entre phases d'autres enroulements à couplage étoile. Cette condition doit être contrôlée pour voir si elle n'exige pas une distance d'isolement entre phases supérieure à celle spécifiée pour l'enroulement seul tel qu'en 16.2.1.

16.2.2.3 Procédure de l'essai de type

Si un essai de type pour une distance d'isolement inférieure doit être réalisé, la procédure d'essai doit être la suivante:

Un essai pour une configuration phase-terre (ou phase-neutre, ou vis-à-vis d'une borne d'un enroulement de tension inférieure) doit consister en un essai au choc de manœuvre à sec, la tension appliquée à la borne de ligne de l'enroulement (enroulement de tension la plus élevée) étant de polarité positive. L'autre électrode doit être mise à la terre. Si la borne essayée appartient à un enroulement triphasé, les autres bornes de ligne doivent aussi être mises à la terre.

NOTE Cet essai n'est pas, en général, réalisable sur un transformateur triphasé complet et peut donc être fait sur un modèle simulant la configuration réelle du transformateur.

Les essais des distances entre phases d'un transformateur triphasé doivent consister en essais au choc de manœuvre à sec, la moitié de la tension d'essai spécifiée étant appliquée en polarité positive sur une borne de ligne, l'autre moitié, en polarité négative, sur une autre borne de ligne et la troisième borne de ligne mise à la terre.

Les combinaisons des tensions d'essai phase-terre et entre phases sont reproduites au tableau 7.

Quand les phases externes sont disposées symétriquement par rapport à la phase milieu, il suffit de faire deux essais séparés, l'un de polarité positive sur la phase milieu, l'une des phases externes étant de polarité négative, et l'autre de polarité positive sur une phase externe, la phase milieu étant de polarité négative. Si la configuration des bornes de ligne n'est pas symétrique, il peut être nécessaire de réaliser plus de deux essais.

Chaque essai doit consister en l'application de 15 ondes de choc de tension de forme 250/2 500 μ s conformément à la CEI 60060-2.

NOTE La procédure d'essais ci-dessus, pour les distances d'isolement externes entre phases, diffère en plusieurs points de la procédure d'essais au choc de manœuvre spécifiée pour l'isolation interne du transformateur par l'article 14. Ces deux procédures d'essais ne sont pas substituables l'une à l'autre.

The clearance shall, however, also fulfil the lightning impulse withstand requirement, which pre-supposes that the lower voltage winding terminal is at earth potential when rated lightning impulse withstand voltage is applied to the high-voltage terminal. The distance requirement in column 6 of table 7 and figure 7, corresponding to this rated lightning impulse voltage, has therefore to be fulfilled between the two terminals. The higher of the two clearance requirements shall apply.

The switching impulse test on three-phase transformers will induce voltages between phases of other star-connected windings as well. It shall be checked whether this condition requires a larger phase-to-phase clearance in such a winding than as prescribed for this winding alone such as in 16.2.1.

16.2.2.3 Type test procedure

If a type test on a reduced clearance is to be conducted, the test procedure shall be as follows.

A test on a configuration phase-to-earth (or phase-to-neutral, or towards a terminal of a lower voltage winding) shall consist of a switching impulse test, dry, with positive polarity on the line terminal of the winding (the higher voltage winding). The counter electrode shall be earthed. If the tested terminal belongs to a three-phase winding, the other line terminals shall also be earthed.

NOTE This test is not generally feasible on complete three-phase transformers and may therefore have to be conducted on a model simulating the actual configuration of the transformer.

Tests on the phase-to-phase clearances of a three-phase transformer shall consist of switching impulse tests, dry, with half of the specified test voltage, positive, on one line terminal, the other half, negative, on another line terminal, and the third line terminal earthed.

The combinations of phase-to-earth and phase-to-phase test voltages are reproduced in table 7.

When the outer phases are placed symmetrically with respect to the middle phase, it is sufficient to make two separate tests, one with positive polarity on the middle phase, an outer phase having negative polarity and the other with positive polarity on an outer phase, the middle phase having negative polarity. If the line terminal arrangement is asymmetrical, it may be necessary to perform more than two tests.

Each test shall consist of 15 applications of impulse voltage with a wave shape 250/2 500 μ s in accordance with IEC 60060-2.

NOTE The above test procedure for phase-to-phase external clearances, differs in several respects from the switching impulse test procedure specified for the internal insulation of the transformer in clause 14. The two test procedures do not replace each other.

Tableau 5 – Distances d’isolement dans l’air minimales recommandées – phase-terre, entre phases, phase-neutre et par rapport aux enroulements de tension inférieure – pour les parties sous tension des traversées des transformateurs de puissance dont la tension la plus élevée pour le matériel est telle que $U_m \leq 170$ kV – Série I d’après la pratique européenne

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV efficaces	Tension de tenue assignée au choc de foudre kV crête	Distance minimale d’isolement dans l’air mm
3,6	20	-
7,2	40	60
12	60	90
17,5	75	110
24	95	170
	125	210
36	145	275
52	170	280
72,5	250	450
100	325	630
123	450	830
145	550	900
170	650	1250
	750	1450

Table 5 – Recommended minimum clearances phase-to earth, phase-to-phase, phase-to-neutral and to lower voltage windings from bushing live parts on power transformers having windings with highest voltage for equipment $U_m \leq 170$ kV – Series I based on European practice

Highest voltage for equipment U_m	Rated lightning impulse withstand voltage	Minimum clearance
kV r.m.s	kV peak	mm
3,6	20	-
7,2	40	60
12	60	90
17,5	75	110
24	95	170
36	125	210
52	145	275
72,5	170	280
100	250	450
123	325	630
145	450	830
170	550	900
	650	1250
	750	1450

Tableau 6 – Distances d'isolement dans l'air minimales recommandées – phase-neutre, phase-terre, entre phases et par rapport aux enroulements de tension inférieure – pour les parties sous tension des traversées des transformateurs de puissance dont la tension la plus élevée pour le matériel est telle que $U_m \leq 169$ kV – Série II d'après la pratique nord-américaine

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV efficaces	Tension de tenue assignée au choc de foudre kV crête	Distance minimale d'isolement dans l'air mm
<15	60 (voir note)	65 (voir note)
	75	100
	95 (voir note)	140 (voir note)
	110	165
26,4	150	225
36,5	200	330
48,3	250	450
72,5	350	630
121	450	830
145	550	1 050
169	650	1 250
	750	1 450

NOTE Ces valeurs sont spécifiées pour les transformateurs de distribution seulement.

Table 6 – Recommended minimum clearances phase-to-earth, phase-to-phase, phase-to-neutral and to lower voltage windings from bushing live parts on power transformers having windings with highest voltage for equipment $U_m \leq 169$ kV – Series II based on North American practice

Highest voltage for equipment U_m kV r.m.s.	Rated lightning impulse withstand voltage kV peak	Minimum clearance mm
<15	60 (see note)	65 (see note)
	75	100
	95 (see note)	140 (see note)
	110	165
26,4	150	225
36,5	200	330
48,3	250	450
72,5	350	630
121	450	830
145	550	1 050
169	650	1 250
	750	1 450

NOTE Indicates value for distribution transformers only.

Tableau 7 – Distances d'isolement minimales recommandées – phase-terre, entre phases, phase neutre et par rapport aux enroulements de tension inférieure – pour les parties sous tension des traversées des transformateurs de puissance dont la tension la plus élevée pour le matériel est telle que $U_m > 170$ kV

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV efficaces	Tension de tenue assignée au choc de manœuvre kV crête	Tension de tenue assignée au choc de foudre kV crête	Distances minimales d'isolement dans l'air		
			Phase-terre mm (note 1)	Entre phases mm (note 1)	Aux autres enroulements mm (note 2)
245 300 362	550 650 750 850 950	650	1 250	1 450	1 250
		750	1 500	1 800	1 450
		850	1 900	2 250	1 600
		950	2 300	2 650	1 750
		1 050	2 700	3 100	1 950
		1 175			2 200
420 550 800	850 950 1 050 1 175 1 300 1 300 1 425 1 550	1 050	2 300	2 650	1 950
		1 175	2 700	3 100	2 200
		1 300	3 100	3 500	2 400
		1 425	3 700	4 200	2 650
		1 550	4 400	5 000	2 850
		1 675	4 400	5 000	3 100
		1 800	5 000	5 800	3 300
		1 950	5 800	6 700	3 600
		2 100			3 800

NOTE 1 Fondées sur la tension de tenue au choc de manœuvre.

NOTE 2 Fondées sur la tension de tenue au choc de foudre, voir aussi 16.2.2.

NOTE 3 Ces distances d'isolement dans l'air peuvent être différentes si elles sont fondées sur les tensions de tenue CF et FI seulement.

NOTE 4 Les traits pointillés ne sont pas conformes à la CEI 60071-1 mais ils sont pratique courante dans certains pays.

Table 7 – Recommended minimum clearances phase-to-earth, phase-to-phase, phase-to-neutral and to lower voltage windings from bushing live parts on power transformers having windings with highest voltage for equipment $U_m > 170$ kV

Highest voltage for equipment U_m kV r.m.s.	Rated switching impulse withstand voltage kV peak	Rated lightning impulse withstand kV peak	Minimum clearances		
			Phase-to-earth mm (note 1)	Phase-to-phase mm (note 1)	To other winding mm (note 2)
245 300 362	550 650 750 850 950	650	1 250	1 450	1 250
		750	1 500	1 800	1 450
		850	1 900	2 250	1 600
		950	2 300	2 650	1 750
		1 050	2 700	3 100	1 950
		1 175			2 200
420 550 800	850 950 1 050 1 175 1 300 1 300 1 425 1 550	1 050	2 300	2 650	1 950
		1 175	2 700	3 100	2 200
		1 300	3 100	3 500	2 400
		1 425	3 700	4 200	2 650
		1 550	4 400	5 000	2 850
		1 675	4 400	5 000	3 100
		1 800	5 000	5 800	3 300
		1 950	5 800	6 700	3 600
		2 100			3 800
NOTE 1 Based on switching impulse withstand voltage.					
NOTE 2 Based on lightning impulse withstand voltage, see also 16.2.2.					
NOTE 3 Clearances may be different if based on LI and AC withstand voltages only.					
NOTE 4 Dotted lines are not in conformance with IEC 60071-1 but are current practice in some countries.					

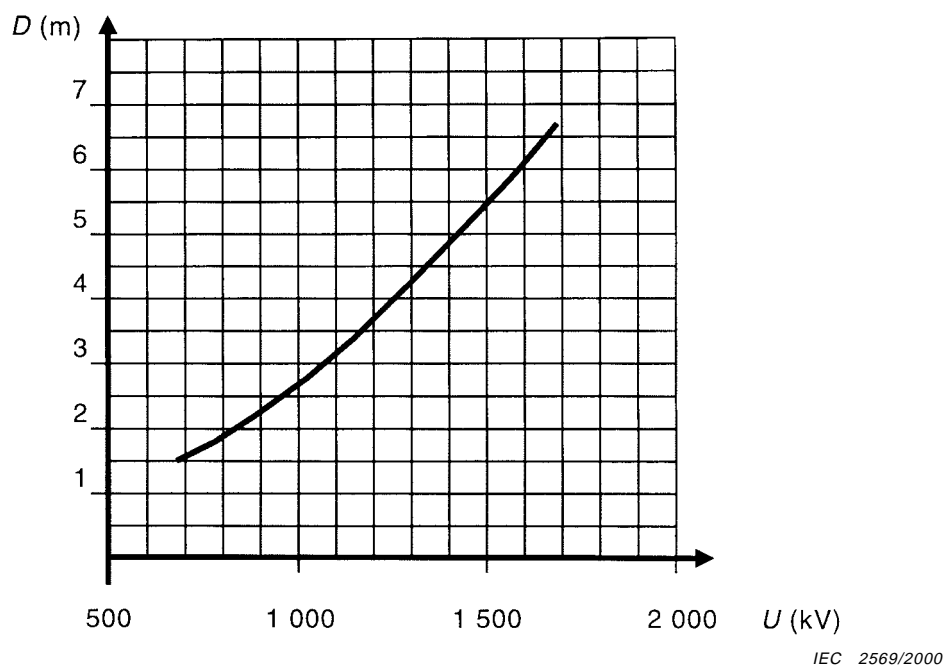


Figure 5 – Distance d'isolement dans l'air phase-terre d'après la tension de tenue assignée au choc de manœuvre

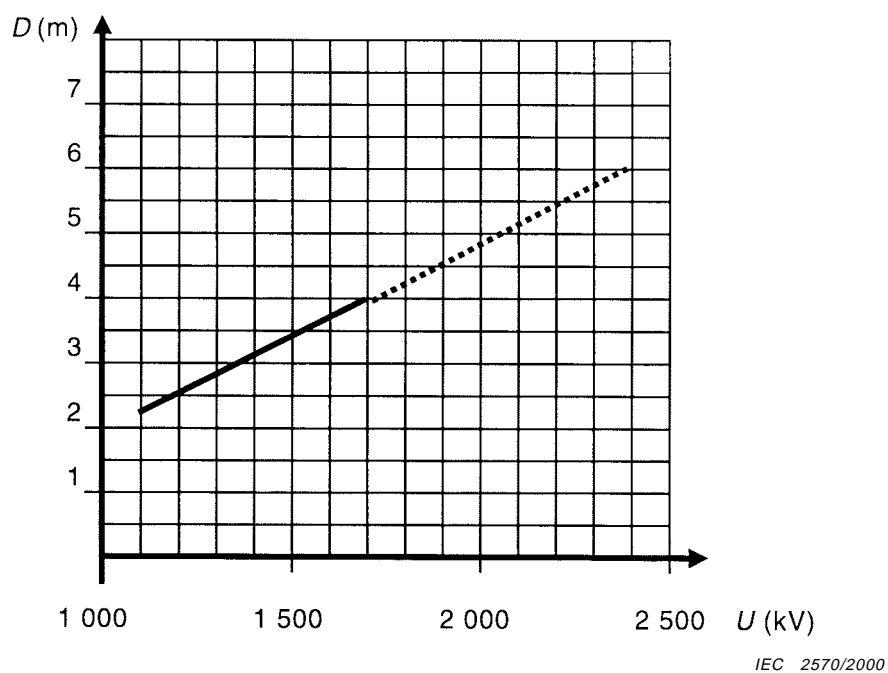


Figure 6 – Distance d'isolement dans l'air entre phases d'après la tension de tenue assignée au choc de manœuvre apparaissant entre phases

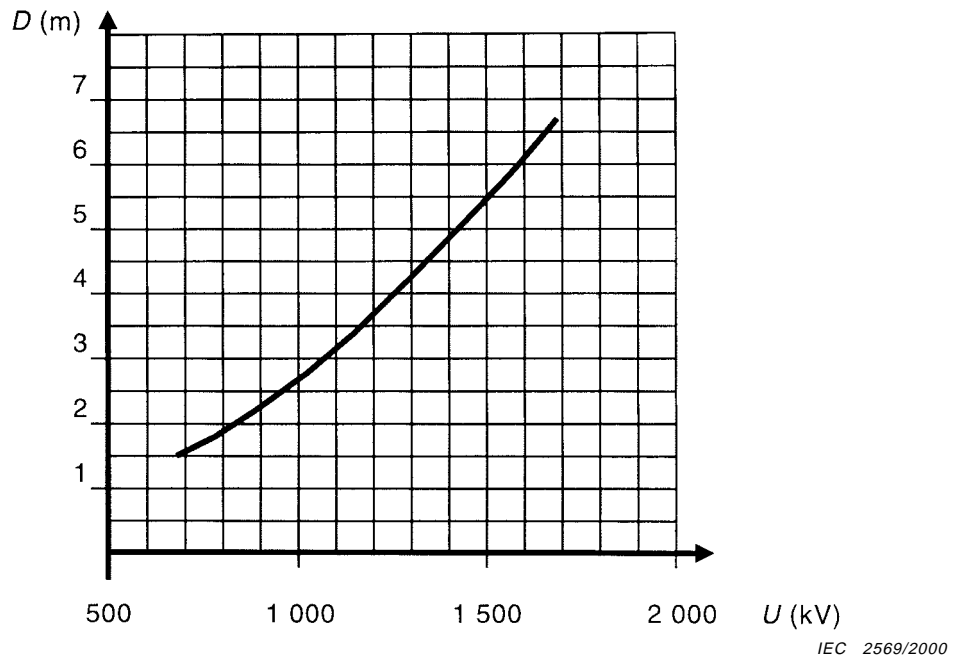


Figure 5 – Clearance phase-to-earth based on rated switching impulse withstand voltage

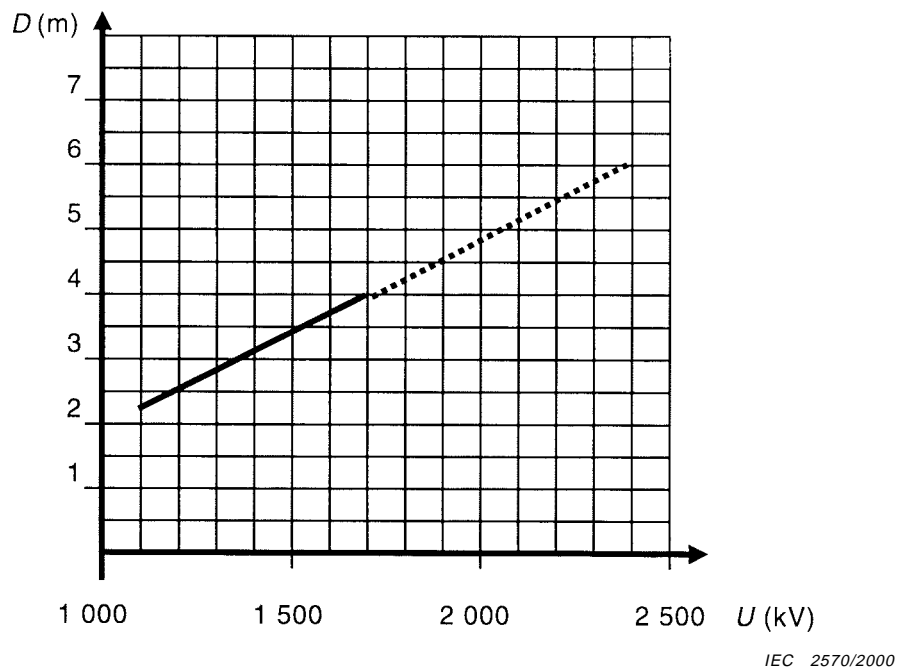


Figure 6 – Clearance phase-to-phase based on switching impulse voltage appearing between phases

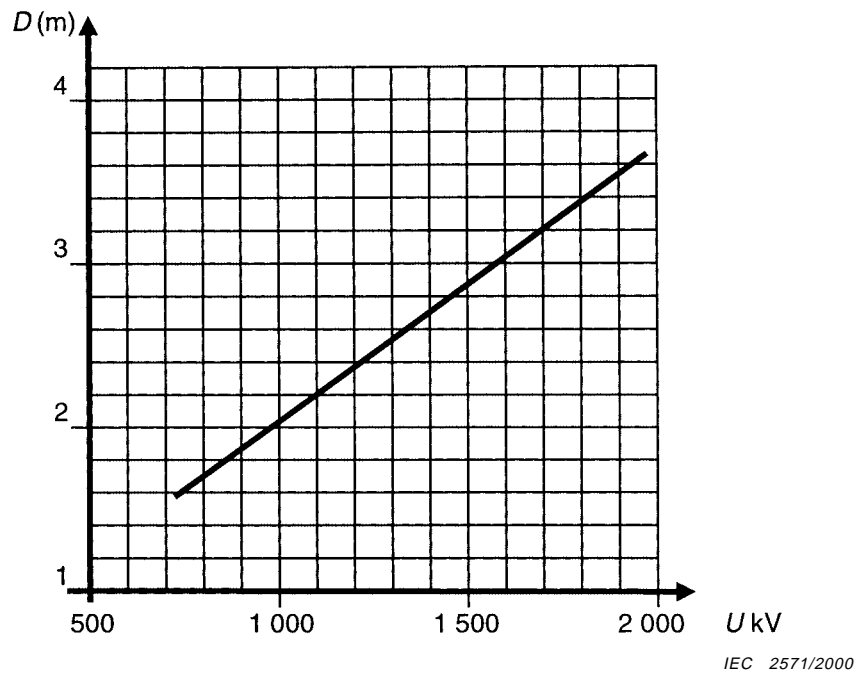


Figure 7 – Distance dans l'air d'après la tension au choc de foudre

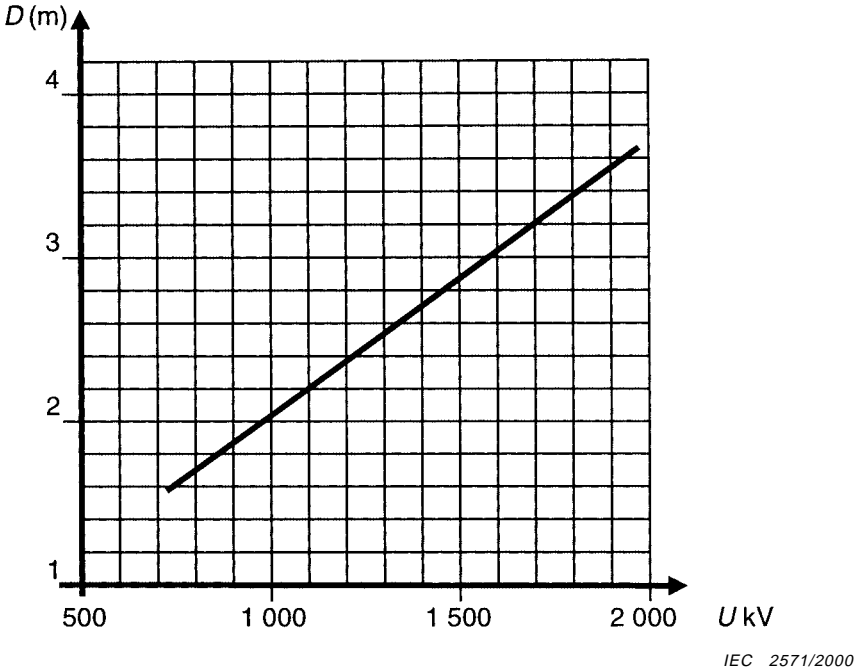


Figure 7 – Clearance based on lightning impulse voltage

Annexe A (informative)

Guide d'application pour la mesure des décharges partielles sur un transformateur lors d'un essai par tension induite suivant 12.2, 12.3 et 12.4

A.1 Introduction

Une décharge partielle (D.P.) est une décharge électrique qui ne court-circuite que partiellement l'isolation entre conducteurs. Dans un transformateur, une telle décharge partielle provoque une variation brusque de la tension par rapport à la terre à chaque borne d'enroulement accessible de l'extérieur.

Les impédances de mesure sont connectées effectivement entre la cuve mise à la terre et les bornes, ordinairement à travers la capacité d'une prise de traversée ou à travers un condensateur de liaison distinct, comme cela est précisé à l'article A.2.

La charge réellement mise en jeu à l'endroit d'une décharge partielle ne peut pas être mesurée directement. Le mesurage préférentiel de décharge partielle sur des transformateurs de puissance est la détermination de la charge apparente q telle que définie dans la CEI 60270.

La charge apparente q ramenée à une borne de mesure donnée est déterminée par un étalonnage approprié (voir article A.2).

Une décharge partielle particulière est caractérisée par différentes valeurs de la charge apparente à différentes bornes du transformateur. La comparaison des indications recueillies simultanément à différentes bornes peut donner des informations sur la localisation de la source de décharge partielle à l'intérieur du transformateur, voir article A.5.

Les procédures d'acceptation de l'essai spécifiées en 12.2, 12.3 et 12.4 imposent la mesure de la charge apparente aux bornes de ligne de l'enroulement.

A.2 Circuits de mesure et d'étalonnage – Méthode d'étalonnage

Le matériel de mesure est relié aux bornes par des câbles coaxiaux adaptés. L'impédance de mesure est, dans sa forme la plus simple, l'impédance d'adaptation du câble, qui peut lui-même constituer l'impédance d'entrée du mesureur.

Pour améliorer le rapport signal sur bruit de l'ensemble complet de mesure, il peut être utile d'utiliser des circuits accordés, des transformateurs d'impulsion et des amplificateurs entre les bornes de l'objet essayé et le câble.

Il convient que le circuit présente une résistance raisonnablement constante, vue des bornes de l'objet essayé, sur toute la gamme de fréquences utilisée pour les mesures de décharges partielles.

Annex A (informative)

Application guide for partial discharge measurements during induced a.c. withstand voltage test on transformers according to 12.2, 12.3 and 12.4

A.1 Introduction

A partial discharge (p.d.) is an electric discharge that only partially bridges the insulation between conductors. In a transformer, such a partial discharge causes a transient change of the voltage to earth at every externally available winding terminal.

Measuring impedances are connected effectively between the earthed tank and the terminals, usually through a bushing tap or through a separate coupling capacitor, as detailed in clause A.2.

The actual charge transferred at the site of a partial discharge cannot be measured directly. The preferred measuring partial discharge activities on power transformers is the determination of the apparent charge q as defined in IEC 60270.

The apparent charge q related to any measuring terminal is determined by a suitable calibration, see clause A.2.

A particular partial discharge gives rise to different values of apparent charge at different terminals of the transformer. The comparison of simultaneously collected indications at different terminals may give information about the location of the partial discharge source within the transformer, see clause A.5.

The acceptance test procedures specified in 12.2, 12.3 and 12.4 call for measurement of apparent charge at the winding line terminals.

A.2 Connection of measuring and calibration circuits – Calibration procedure

The measuring equipment is connected to the terminals by matched coaxial cables. The measuring impedance is, in its simplest form, the matching impedance of the cable, which may in turn be the input impedance of the measuring instrument.

In order to improve the signal-to-noise ratio of the complete measuring system, it may be convenient to make use of tuned circuits, pulse transformers, and amplifiers between the test object terminals and the cable.

The circuit should represent a reasonably constant resistance, when viewed from the test object terminals, throughout the frequency range used for the partial discharge measurements.

Pour la mesure des décharges partielles entre une borne de ligne d'un enroulement et la cuve mise à la terre, la disposition préférée consiste à connecter l'impédance de mesure Z_m directement entre la prise de mesure de capacité de la traversée-condensateur et la collerette reliée à la terre, voir figure A.1. S'il n'y a pas de prise de mesure, il est possible d'isoler de la cuve la collerette de la traversée et de l'utiliser comme borne de mesure. Les capacités équivalentes situées entre le conducteur central, la borne de mesure et la terre agissent comme un atténuateur sur le signal dû aux décharges partielles. Cela est cependant pris en compte par l'étalonnage obtenu par injection entre la tête de la traversée et la terre.

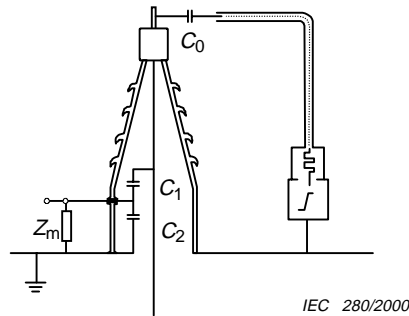


Figure A.1 – Circuit de calibration pour mesure des décharges partielles quand une prise de mesure de traversée-condensateur est disponible

Si des mesures sont à effectuer à une borne sous tension sans que l'on dispose d'une prise valable de mesure sur la traversée-condensateur (ou d'une collerette isolée), on utilise la méthode avec un condensateur de liaison à haute tension. Un condensateur exempt de décharges partielles est exigé et il convient que la valeur de sa capacité C soit grande comparée à la capacité d'injection C_0 du générateur d'étalonnage. L'impédance de mesure (avec un éclateur de protection) est connectée entre la borne basse tension du condensateur et la terre, voir figure A.2.

L'étalonnage du dispositif de mesure complet est effectué par injection de charges connues entre les bornes d'étalonnage. Suivant la CEI 60270, un générateur d'étalonnage est constitué d'un générateur d'échelon de tension à faible temps de montée et d'un petit condensateur série de capacité connue C_0 . Il convient que le temps de montée ne dépasse pas $0,1 \mu s$ et que C_0 soit compris entre 50 pF et 100 pF . Lorsque ce générateur est branché entre deux bornes d'étalonnage présentant une capacité très supérieure à C_0 , la charge injectée par le générateur sera:

$$q_0 = U_0 \times C_0$$

où U_0 est la valeur de l'échelon de tension (habituellement comprise entre 2 V et 50 V).

Pour le générateur d'étalonnage, il convient d'utiliser pour l'essai une fréquence de répétition d'environ une impulsion par demi-période de la tension à fréquence industrielle.

During the measurement of partial discharge between a line terminal of a winding and the earthed tank, the preferred arrangement is to install the measuring impedance Z_m effectively between the value of the capacitance graded bushing tap and the earthed flange, see figure A.1. If a capacitance tap is not provided, it is also possible to insulate the bushing flange from the tank and use it as the measuring terminal. The equivalent capacitances between the central conductor, the measuring terminal and earth, act as an attenuator for the partial discharge signal. This is, however, covered by the calibration which takes place between the top terminal of the bushing and earth.

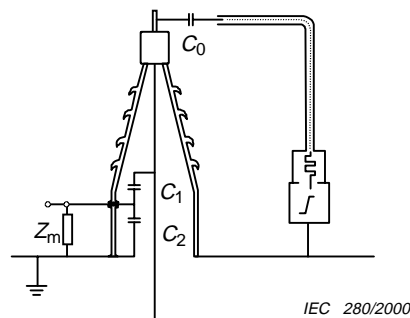


Figure A.1 – Calibration circuit for partial discharge measurement when the value of the capacitance graded bushing is available

If measurements have to be taken at a live terminal without any available value of the capacitance graded bushing tap (or insulated flange), the method with a high-voltage coupling capacitor is used. A partial discharge free capacitor is required and its capacitance value C should be suitably large in comparison with the calibration generator capacitance C_0 . The measuring impedance (with a protective gap) is connected between the low-tension terminal of the capacitor and earth, see figure A.2.

The calibration of the complete measuring system is made by injection of known charges between the calibration terminals. According to IEC 60270, a calibration generator consists of a step voltage pulse generator with short rise time and a small series capacitor of known capacitance C_0 . The rise time should be not more than $0,1 \mu\text{s}$ and C_0 should be in the range of 50 pF to 100 pF. When this generator is connected between two calibration terminals presenting a capacitance much greater than C_0 , the injected charge from the pulse generator will be:

$$q_0 = U_0 \times C_0$$

where U_0 is the voltage step (usually between 2 V and 50 V).

It is convenient if the calibration generator has a repetition frequency of the order of one impulse per half cycle of the power frequency used for the test on the transformer.

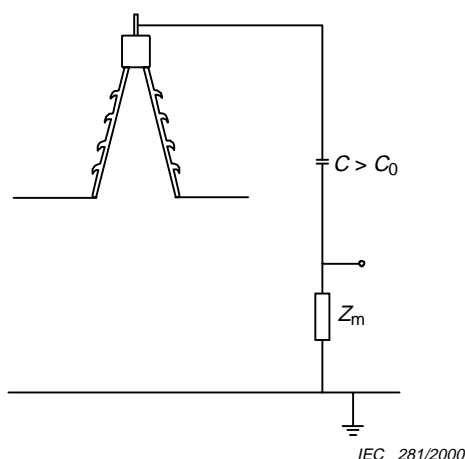


Figure A.2 – Circuit pour mesure des décharges partielles utilisant un condensateur de liaison haute tension

Si les bornes d'étalonnage sont très distantes l'une de l'autre, il y a un risque d'erreur par suite de la présence de capacités parasites au niveau des connexions. La figure A.1 indique une méthode applicable pour l'étalonnage entre la terre et une autre borne.

Un condensateur C_0 est connecté à la borne haute tension et est relié au générateur d'échelons de tension par un câble coaxial muni d'une résistance d'adaptation.

Si aucune des bornes d'étalonnage n'est mise à la terre, la capacité du générateur d'impulsions lui-même sera également une source d'erreur. Il convient de préférence que le générateur ait une alimentation autonome et soit de petites dimensions.

A.3 Appareils de mesure, gamme de fréquences

Il convient que les caractéristiques des appareils de mesure soient conformes à la CEI 60270.

L'observation oscillographique pendant l'essai est généralement utile, en particulier parce qu'elle apporte la possibilité de faire la distinction entre les décharges partielles réelles dans le transformateur et certaines formes de perturbations extérieures. Ceci dépend de la fréquence de répétition, de la position sur l'onde de tension, des différences de polarité, etc.

Il convient d'effectuer les mesures de façon continue ou à des instants rapprochés pendant toute la durée de l'essai. Un enregistrement continu par oscillographe ou enregistreur magnétique n'est pas obligatoire.

Les systèmes de mesure des décharges partielles sont classés en systèmes à bande étroite ou à bande large. Un système à bande étroite possède une bande passante d'environ 10 kHz ou moins, avec une fréquence centrale ajustable (par exemple les mesureurs de perturbations radiophoniques). Un système à bande large utilise un assez grand rapport entre les limites supérieure et inférieure de la bande de fréquences, par exemple 50 kHz à 150 kHz ou même 50 kHz à 400 kHz.

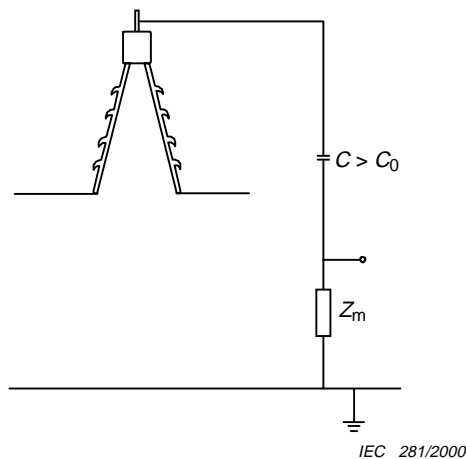


Figure A.2 – Circuit for partial discharge measurement using a high-voltage coupling capacitor

If the calibration terminals are spaced far apart, there is a risk that stray capacitances from the connecting leads may cause errors. One method which is applicable for calibration between earth and another terminal is shown in figure A.1.

Capacitor C_0 is then placed at the high-voltage terminal and a coaxial cable with a matching resistor is used from the step voltage generator.

If neither of the calibration terminals is earthed, the capacitance from the pulse generator itself will also be a source of error. The generator should preferably be battery-operated and have small physical dimensions.

A.3 Instruments, frequency range

The characteristics of the measuring instruments should be as specified in IEC 60270.

Oscillographic monitoring of the test is generally useful, particularly because it offers a possibility of discriminating between true partial discharge in the transformer and certain forms of external disturbances. This is based on rate of repetition, point on the wave, polarity differences, etc.

The indications should be observed continuously or at frequent intervals throughout the test period. Continuous recording by oscillograph or tape recorder is not obligatory.

Measuring systems for partial discharges are classified as narrow-band or wideband systems. A narrow-band system operates with a bandwidth of about 10 kHz or less at a certain tuning frequency (for example, radio noise meters). A wideband system utilizes a relatively large ratio between lower and upper limits of the frequency band, for example 50 kHz to 150 kHz, or even 50 kHz to 400 kHz.

Avec un système à bande étroite, il est possible d'éviter, par réglage de la fréquence d'accord, les signaux parasites provenant d'un émetteur radio, mais on doit s'assurer que les résonances d'enroulement dans le transformateur pour des fréquences voisines de la fréquence de mesure ne modifient pas trop sensiblement la mesure. Il convient que la fréquence utilisée pour une mesure en bande étroite ne dépasse pas 500 kHz et soit de préférence inférieure à 300 kHz. Il y a deux raisons pour cela. La première est que la transmission des impulsions dues aux décharges se fait avec une atténuation importante des fréquences les plus élevées; la deuxième est que, lorsqu'on applique une impulsion d'étalonnage à une borne de ligne, cette impulsion peut provoquer des oscillations à cette borne et au voisinage, ce qui complique l'étalonnage pour une fréquence d'accord supérieure à 500 kHz.

Un système de mesure à large bande est moins critique en ce qui concerne l'atténuation et la réponse aux différentes formes d'impulsions mais il est plus sensible aux perturbations dans des aires d'essai dépourvues d'écran électromagnétique. Des filtres coupe-bande peuvent être utilisés contre les émetteurs radio. Il arrive que l'on puisse identifier les sources de décharges partielles par comparaison de la forme et de la polarité des impulsions.

NOTE De nos jours, les appareils de mesure à très large bande diffèrent considérablement dans leurs méthodes d'évaluation et dans les caractéristiques des filtres qui y sont incorporés. Simultanément le mode de transmission des impulsions complexes en provenance des enroulements et le spectre des fréquences affaiblies entraînent une lecture différente de la charge apparente en dépit des procédures d'étalonnage bien effectuées. La dernière révision de la CEI 60270 indique ce problème mais a échoué dans la normalisation des instruments de mesure à très large bande. Ce problème n'existe pas avec les appareils à bande étroite suivant le CISPR 16-1 pour l'évaluation de la répétition des impulsions.

A.4 Critères de l'essai – Procédure à utiliser en cas d'essai non satisfaisant

A la fin de 12.2, 12.3 et 12.4 sont indiqués les critères d'acceptation. Il convient que le niveau permanent des décharges partielles, exprimé en charge apparente mesurée aux bornes de mesure spécifiées, n'excède pas la limite spécifiée, et qu'on n'observe pas d'évolution significative par valeurs croissantes au voisinage de cette limite pendant toute la durée de l'essai.

S'il n'y a pas eu de claquage, mais si l'essai est non satisfaisant à cause d'une mesure de décharge partielle trop élevée mais toutefois modérée (de l'ordre de quelques milliers de picocoulombs ou moins), l'essai est considéré comme non destructif. Un autre critère d'importance est que les décharges partielles ne doivent pas subsister au voisinage du niveau de la tension de service, quand elles ont été initiées au niveau d'essai.

Il convient de ne pas rejeter immédiatement l'objet en essai au vu d'un tel résultat, mais il convient de mener des investigations complémentaires.

Il convient de commencer par des recherches relatives à l'environnement du circuit d'essai pour découvrir quelques preuves de l'existence éventuelle de sources de décharges parasites. Il convient ensuite qu'il y ait un échange de vues entre fournisseur et acheteur pour rechercher un accord sur des essais complémentaires ou sur toute autre procédure permettant de démontrer soit la présence de décharges partielles importantes, soit que le transformateur est capable d'assurer un service satisfaisant.

On trouvera ci-dessous quelques suggestions qui peuvent être utiles lors des différentes phases des opérations décrites ci-dessus.

Rechercher s'il y a des corrélations entre les mesures et la séquence d'essai, ou si ces mesures correspondent à des sources dont la coïncidence est fortuite. Ceci est souvent facilité par une surveillance oscillographique de l'essai; des perturbations peuvent, par exemple, être détectées si elles ne sont pas synchrones de la tension d'essai.

By the use of a narrow-band system, interference from local broadcasting stations may be avoided by suitably adjusting the mid-band frequency, but a check has to be made to show that winding resonances near the measuring frequency do not greatly effect the measurement. The narrow-band instrument should be operated at a frequency no higher than 500 kHz, and preferably less than 300 kHz. There are two reasons for this. First, the transmission of the discharge pulse entails a high attenuation of the higher frequency components, and second, when applying a calibration pulse to the line terminal, the pulse is likely to excite local oscillations at and near the terminal, and this will complicate the calibration when mid-band frequencies greater than 500 kHz are used.

A wideband measuring system is less critical as to attenuation and response to different pulse shapes, but is more receptive to disturbances in test locations without electromagnetic shielding. Band-stop filters may be used against radio transmitters. Identification of partial discharge sources by comparison of shape and polarity of individual pulses may be possible.

NOTE Today's broad-band instruments differ largely in their evaluation modes and built-in filter characteristics. Together with the complicated pulse transfer mode from within the windings and the decaying frequency spectrum of the responses each instrument will yield a different apparent charge reading despite the well-established calibration procedures. The latest revision of IEC 60270 indicates this problem but fails to standardize broad-band measuring instruments. This problem does not exist for narrow-band meters with CISPR 16-1 pulse repetition evaluation.

A.4 Test criteria – Procedure after an unsuccessful test

At the end of 12.2, 12.3 and 12.4, acceptance criteria are given. The steady-state partial discharge level, expressed as an apparent charge measured between the prescribed measuring terminals, should not be above the specified limit, and there should not be a significant rising trend during the total test duration.

If there has been no voltage collapse, but the test has been unsuccessful because of too high but still moderate partial discharge reading (within a few thousand picocoulombs or less), the test is regarded as non-destructive. A further criterion of importance is that the partial discharges are not sustained into or below the operating voltage level, when triggered at the test level.

The test object should not be rejected immediately upon such a result, but further investigations should be undertaken.

The testing environment should first be investigated to find any obvious sign of irrelevant sources of partial discharges. This should be followed by consultations between the supplier and purchaser to agree on further supplementary tests or other action to show either the presence of serious partial discharge, or that the transformer is satisfactory for service operation.

Below are some suggestions which may be useful during the above courses of action.

Investigation as to whether the indications are truly correlated to the test sequence or just represent coincident, irrelevant sources. This is often facilitated by oscillographic monitoring of the test, disturbances may for example be identified by their being asynchronous with the test voltage.

Rechercher si les décharges partielles proviennent de l'alimentation. Dans ce cas, il peut être utile de placer des filtres passe-bas sur les connexions d'alimentation du transformateur en essai.

Rechercher si les sources de décharges partielles sont à l'intérieur du transformateur ou à l'extérieur (crachotements dus à des objets placés à un potentiel flottant dans l'aire d'essai, ou provenant de pièces sous tension dans l'air ou d'angles vifs sur des parties du transformateur reliées à la terre). Etant donné que l'essai est destiné à contrôler l'isolation interne, il est permis et recommandé d'utiliser des écrans électrostatiques provisoires placés à l'extérieur.

Rechercher quelle peut être la localisation probable de la ou des sources en se référant au schéma électrique du transformateur. Il existe pour cela plusieurs méthodes connues et publiées. L'une d'elles est fondée sur une corrélation entre les mesures et les étalonnages à différentes paires de bornes (ces mesures étant effectuées en plus de celles qui sont obligatoires pour les bornes de référence «bornes de ligne-terre»). Cette méthode est décrite à l'article A.5. On peut également, si des enregistrements en bande large sont réalisés, comparer les formes des impulsions pendant l'essai et pendant les étalonnages. Un cas particulier de localisation est la détection de décharges dans l'isolant des traversées-condensateurs, voir fin de l'article A.5.

Rechercher la localisation «géographique» de la ou des sources à l'intérieur de la cuve par une détection acoustique ou ultrasonore.

Déterminer la nature physique probable de la source à partir de conclusions telles que la variation du niveau des décharges partielles avec la tension d'essai, l'hystérésis, la répartition des impulsions sur l'onde de tension, etc.

Les décharges partielles dans le système d'isolation peuvent être causées par un séchage ou une imprégnation d'huile insuffisants. On peut donc essayer de retraiter le transformateur ou de le laisser reposer quelque temps, puis recommencer les essais.

Il est également très connu qu'une exposition limitée à un niveau de décharges partielles assez élevé peut conduire à un craquage local de l'huile, ce qui réduit temporairement les tensions d'extinction et de réamorçage, mais que les qualités d'origine peuvent être spontanément restaurées en quelques heures.

Si les décharges mesurées sont au-dessus de la limite d'acceptation mais ne sont pas considérées comme très importantes, on peut se mettre d'accord pour répéter l'essai, éventuellement avec une durée plus longue et même avec un niveau de tension plus élevé. Une variation relativement limitée du niveau des décharges partielles lorsque la tension augmente et l'absence d'augmentation avec le temps peuvent être considérées comme une preuve que le transformateur est apte au service.

On ne trouve généralement au décufrage aucune trace visible de décharges partielles à moins que le transformateur n'ait été exposé pendant une durée considérable à des niveaux de décharges partielles très élevés par rapport à la limite d'acceptation. Une telle méthode peut être le dernier recours lorsque tous les autres moyens d'améliorer le comportement du transformateur ou d'identifier la source des décharges partielles ont échoué.

A.5 Localisation des sources de décharges partielles au moyen des «mesures multi-bornes» et de la «comparaison de profil»

Une source quelconque de décharges partielles produit un signal à toutes les *paires de bornes de mesure* accessibles du transformateur et la répartition de ces signaux constitue une «empreinte digitale» unique. Si des impulsions d'étalonnage sont injectées aux différentes *paires de bornes d'étalonnage*, ces impulsions fournissent également une répartition caractéristique des signaux aux *paires de mesure*.

S'il y a une corrélation évidente entre le profil des mesures réalisées pendant l'essai à différentes paires de bornes de mesures et le profil obtenu à ces mêmes bornes de mesure pour des impulsions injectées à une paire de bornes d'étalonnage donnée, on peut admettre que la source réelle des décharges partielles est très proche de cette paire d'étalonnage.

Investigation as to whether the partial discharge may be transmitted from the supply source. Low-pass filters on the supply leads to the transformer under test can help in such cases.

Investigation to determine whether the partial discharge source is within the transformer or outside (spitting from objects at floating potential in the hall, from live parts in air, or from sharp edges on earthed parts of the transformer). As the test concerns the internal insulation, provisional electrostatic shielding on the outside is permitted and recommended.

Investigation of the probable location of the source(s) in terms of the electrical circuit diagram of the transformer. There are several known and published methods. One is based on correlation of readings and calibrations at different pairs of terminals (in addition to the obligatory readings between line terminals and earth). It is described in clause A.5. It is also possible to identify individual pulse shapes during the test with corresponding calibration waveforms, if records from wideband circuits are used. A particular case is the identification of partial discharge in the dielectric of the capacitance graded bushings, see end of clause A.5.

Investigation by acoustic or ultrasonic detection of the "geographical" location of the source(s) within the tank.

Determination of the probable physical nature of the source by conclusions drawn from variation with test voltage level, hysteresis effect, pulse pattern along the test voltage wave, etc.

Partial discharge in the insulation system may be caused by insufficient drying or insufficient oil impregnation. Re-processing of the transformer, or a period of rest, and subsequent repetition of the test may therefore be tried.

It is also well known that a limited exposure to a relatively high partial discharge may lead to local cracking of oil and temporarily reduced extinction and re-inception voltages, but that the original conditions may be self-restored in a matter of hours.

If the partial discharge indications are above the acceptance limit but are not considered as very important, it may be agreed to repeat the test, possibly with extended duration, and even with increased voltage level. Relatively limited variation of the partial discharge level with voltage increase, and absence of increase with time, may be accepted as evidence that the transformer is suitable for service.

Traces of partial discharges visible after untanking are usually not found unless the transformer has been exposed for a considerable duration of time to levels which are very high in comparison with the acceptance limit. Such a procedure may be the last resort if other means of improving the behaviour of the transformer or identifying the source have failed.

A.5 Electrical location of partial discharge sources by means of "multi-terminal measurement" and "profile comparison"

An arbitrary partial discharge source will deliver signals at all accessible *measuring terminal pairs* of the transformer, and the pattern of these signals is a unique "finger-print". If calibration pulses are fed in at alternative *calibration terminal pairs*, these pulses also deliver combinations of signals at the *measuring pairs*.

If there is an evident correlation between the profile of the test readings at different measuring terminal pairs and the profile obtained at the same measuring terminals for pulses fed in at a particular pair of calibration terminals, then it is assumed that the actual partial discharge source is closely associated with this calibration pair.

Cela signifie qu'il est possible de tirer des conclusions quant à la localisation de la source des décharges partielles dans le schéma électrique du transformateur. La localisation «physique» est un concept différent; une source de décharges partielles qui est située «électriquement» à proximité d'une borne donnée peut être située physiquement à n'importe quel endroit le long des connexions reliées à cette borne ou à l'extrémité correspondante de l'enroulement proprement dit. Habituellement, la localisation physique de la source de décharges partielles devrait être déterminée selon les techniques de localisation acoustique.

La procédure permettant d'obtenir la comparaison de «profil» est la suivante.

Le générateur d'étalonnage étant connecté à un couple particulier de bornes d'étalonnage, les mesures sont effectuées à tous les couples de bornes de mesure. Cette procédure est appliquée à tous les couples de bornes d'étalonnage. Des étalonnages sont effectués entre les bornes d'enroulements et la terre, mais il est aussi possible de les faire entre les têtes des traversées haute tension et leurs prises de mesure (ce qui simule des décharges partielles dans l'isolant de la traversée), entre bornes haute tension et neutre et entre bornes d'enroulements haute tension et basse tension.

La combinaison de tous les couples de bornes d'étalonnage et de mesure forme une «matrice d'étalonnage» servant de référence pour l'interprétation des mesures lors de l'essai proprement dit.

L'exemple, figure A.3, montre un autotransformateur monophasé à très haute tension comportant un enroulement tertiaire à basse tension. Les étalonnages et les essais sont effectués sur les bornes indiquées au tableau. La ligne donnant des résultats sous la tension d'essai de $1,5 U_m$ est comparée avec les différents étalonnages et on voit facilement, dans ce cas, qu'elle correspond le mieux avec l'étalonnage «2.1 – terre». Cela suggère l'existence de décharges partielles avec une charge apparente de l'ordre de 1 500 pC à proximité de la borne 2.1 et probablement entre les parties sous tension et la terre. La localisation physique peut être n'importe quel point le long des connexions entre l'enroulement série et l'enroulement commun ou aux extrémités d'enroulements adjacents.

La méthode qui vient d'être décrite donne de bons résultats principalement lorsqu'une source de décharges partielles distinctes est prépondérante et lorsque le bruit de fond est faible. Tel n'est certainement pas toujours le cas.

Il est particulièrement intéressant de déterminer si les décharges partielles observées se produisent dans le diélectrique de la traversée haute tension. Ce renseignement est donné par un étalonnage entre la tête de traversée et la prise de mesure; cet étalonnage conduit à la corrélation la meilleure avec le profil des décharges partielles dans la traversée.

This means that it is possible to draw a conclusion as to the electrical location of the partial discharge source in terms of the electric circuit diagram of the transformer. The "physical location" is a different concept; a partial discharge source which is "electrically" located in the vicinity of a particular terminal may be physically located at any place along the terminal conductors associated with this terminal or at the corresponding end of the winding structure. The physical location of the p.d. source would usually be determined by acoustic localization techniques.

The procedure for obtaining the profile comparison is as follows.

While the calibration generator is connected to a specific pair of calibration terminals, the indications at all pairs of measuring terminals are observed. The procedure is then repeated for other pairs of calibration terminals. Calibrations are made between winding terminals and earth, but may also be applied between the live terminals of the high-voltage bushings and their capacitance taps (simulating partial discharge in the bushing dielectric), between high-voltage and neutral terminals, and between high-voltage and low-voltage winding terminals.

All combinations of calibration and measuring pairs form a "calibration matrix" which gives the interpretation reference for the readings in the actual test.

For example, figure A.3 shows an extra-high-voltage single-phase auto-connected transformer with a low-voltage tertiary winding. Calibrations and tests are made with reference to the terminals as indicated in the table. The line with results at $1,5 U_m$ is compared with the different calibrations, and it is easy to see, in this case, that it corresponds best to calibration "terminal 2.1 – earth". This suggests that there are partial discharges with apparent charge of the order of 1 500 pC associated with terminal 2.1, and probably from live parts to earth. The physical location may be at any place along the connecting leads between the series winding and common winding, or at the adjacent winding ends.

The method as described is successful mainly in those cases where one distinct source of partial discharge is dominant and the background noise is low. This is certainly not always the case.

A particular case of interest is to determine whether observed partial discharges may originate in the high-voltage bushing dielectric. This is investigated by a calibration between the bushing line terminal and the value of the capacitance graded bushing tap. This calibration gives the closest correlation to the profile of partial discharges in the bushing.

Voie de mesure Etalonnage	1.1	2.1	2.2	3.1
	Unités arbitraires			
1.1 – terre 2 000 pC	50	20	5	10
2.1 – terre 2 000 pC	5	50	30	8
2.2 – terre 2 000 pC	2	10	350	4
3.1 – terre 2 000 pC	3	2	35	25
Essai				
$U = 0$	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
$U = U_m$	<0,5	<0,5	0,5	0,5
$U = 1,5 U_m$	6	40	25	8

NOTE Afin d'améliorer l'efficacité, il convient également de traiter les bornes 2.2 et 3.2 comme des bornes de mesure et de calibration, en particulier quand une prise de mesure de traversée condensateur est fournie.

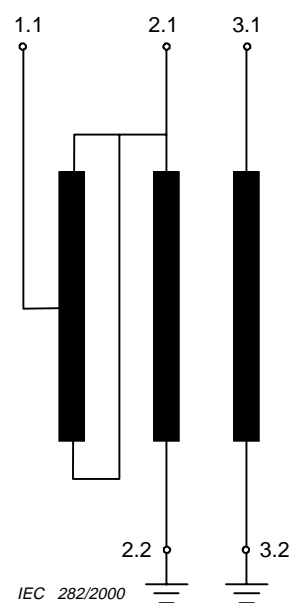


Figure A.3 – Localisation des sources de décharges partielles au moyen des «mesures multibornes» et de la «comparaison de profil»

Channel	1.1	2.1	2.2	3.1
Calibration	Arbitrary units			
1.1 – earth 2 000 pC	50	20	5	10
2.1 – earth 2 000 pC	5	50	30	8
2.2 – earth 2 000 pC	2	10	350	4
3.1 – earth 2 000 pC	3	2	35	25
Test				
$U = 0$	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
$U = U_m$	<0,5	<0,5	0,5	0,5
$U = 1,5 U_m$	6	40	25	8

NOTE For improving effectivity, also terminals 2.2 and 3.2 should be treated as measuring and calibration terminals, particularly when capacitance graded bushings are provided.

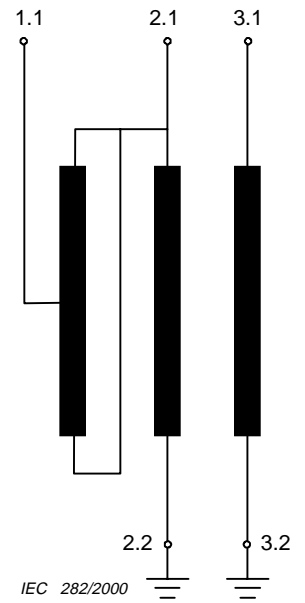


Figure A.3 – Location of partial discharge sources by means of "multi-terminal measurement" and "profile comparison"

Annexe B (informative)

Surtension transmise de l'enroulement haute tension à un enroulement basse tension

B.1 Généralités

Le problème des surtensions transmises est traité du point de vue du réseau dans l'annexe A de la CEI 60071-2. Les renseignements qui sont exposés ici concernent seulement les problèmes associés au transformateur lui-même dans certaines conditions de service. Les surtensions considérées sont soit des surtensions transitoires, soit des surtensions à fréquence industrielle.

NOTE Il est de la responsabilité de l'acheteur de définir la charge de l'enroulement basse tension. Si aucune information n'est donnée, le fournisseur peut proposer des informations concernant les tensions transmises prévues lorsque l'enroulement basse tension est en circuit ouvert et concernant les valeurs des résistances ohmiques ou des condensateurs qui seraient nécessaires pour maintenir les tensions dans des limites acceptables.

B.2 Transmission des surtensions transitoires

B.2.1 Généralités

L'étude de l'installation d'un transformateur du point de vue des surtensions transmises n'est en général justifiée que dans le cas des gros transformateurs de groupes qui ont un rapport de transformation élevé, et des transformateurs de grands réseaux à haute tension qui ont un enroulement tertiaire à basse tension.

Il est commode de faire la distinction entre deux mécanismes de transmission des surtensions qui sont la *transmission capacitive* et la *transmission inductive*.

B.2.2 Transmission capacitive

La transmission capacitive des surtensions à un enroulement à basse tension peut être décrite, en première approximation, comme une division de tension capacitive. Le circuit équivalent le plus simple, vu de l'enroulement basse tension, consiste en une source de force électromotrice (f.e.m.) en série avec une capacité de transmission C_t , voir figure B.1.

La f.e.m. équivalente est une fraction s de la surtension incidente sur le côté haute tension. C_t est de l'ordre de 10^{-9} F; s et C_t ne sont pas des grandeurs bien définies mais dépendent de la forme du front de la surtension. Ces grandeurs peuvent être déterminées globalement par des mesures oscillographiques. Leur prédétermination par le calcul est incertaine.

En chargeant les bornes secondaires avec des appareillages, des câbles courts ou des condensateurs additionnels (quelques nF), qui se comportent comme une capacité localisée C_s branchée directement aux bornes (même pendant la première microseconde), on réduit la crête de la surtension transmise. Des câbles plus longs ou des barres omnibus sont représentés par leur impédance caractéristique. La forme de la surtension au secondaire qui en résulte est normalement du type d'une impulsion brève (de l'ordre de la microseconde), correspondant au front de la surtension incidente.

Annex B (informative)

Overvoltage transferred from the high-voltage winding to a low-voltage winding

B.1 General

The problem of transferred overvoltage is treated from a system viewpoint in annex A of IEC 60071-2. The information given below concerns only problems associated with the transformer itself under particular conditions of service. The transferred overvoltages to be considered are either transient surges or overvoltages.

NOTE It is the responsibility of the purchaser to define the loading of a low-voltage winding. If no information can be given, the supplier can provide information about the expected transferred voltages when the low-voltage terminals are open-circuited, and about the values of ohmic resistors or capacitors which are needed to keep the voltages within acceptable limits.

B.2 Transfer of surge voltage

B.2.1 General

A study of particular transformer installation with regard to transferred surge overvoltages is, in general, justified only for large generator transformers, which have a large voltage ratio, and for large high-voltage system transformers with a low-voltage tertiary winding.

It is convenient to distinguish between two mechanisms of surge transfer, namely *capacitive transfer* and *inductive transfer*.

B.2.2 Capacitive transfer

The capacitive transfer of overvoltage to a low-voltage winding may in the first approximation be described as a capacitive voltage division. The simplest equivalent circuit as seen from the low-voltage winding consists of an electromotive force (e.m.f.) source in series with a transfer capacitance C_t , see figure B.1.

The equivalent e.m.f. is a fraction s of the incoming surge on the high-voltage side. C_t is of the order of 10^{-9} F; s and C_t are not well-defined quantities but dependent on the shape of the surge front. They can be determined together by oscillographic measurements. Pre-calculation is uncertain.

A loading of the secondary terminals with switchgear, short cables or added capacitors (a few nF), which act as lumped capacitance C_s directly on the terminals (even during the first microsecond), will reduce the transferred overvoltage peak. Longer cables or busbars are represented by their characteristic impedance. The resulting shape of secondary overvoltage will normally have the character of a short (microsecond) peak, corresponding to the front of the incoming surge.

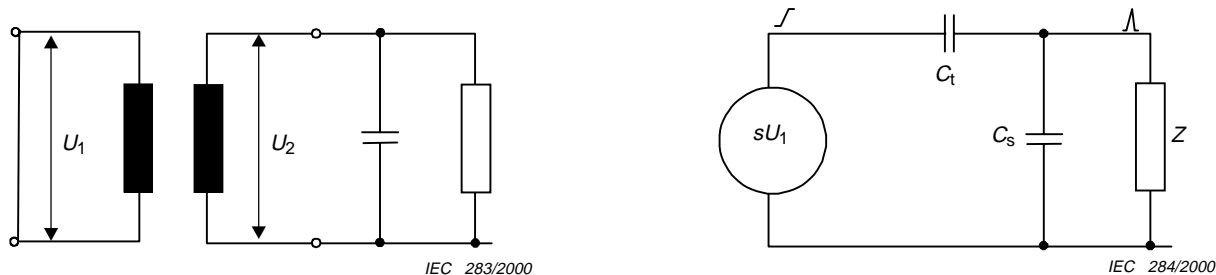


Figure B.1 – Circuit équivalent pour la transmission capacitive de surtension

B.2.3 Transmission inductive

La transmission inductive d'une surtension dépend du passage du courant de choc dans l'enroulement haute tension.

Si aucune charge extérieure n'est appliquée à l'enroulement secondaire, la tension transitoire présente généralement une oscillation amortie superposée dont la fréquence est déterminée par l'inductance de fuites et les capacités des enroulements.

Il est possible de réduire la composante inductive d'une surtension transmise, soit à l'aide d'une résistance d'amortissement au moyen d'un parafoudre, soit en modifiant l'oscillation grâce à une charge capacitive. Si on utilise des condensateurs, la valeur de leur capacité doit être généralement de l'ordre de quelques dixièmes de microfarads. (Ils élimineront alors automatiquement la composante transmise capacitivement, à condition que l'inductance du circuit soit faible.)

Les caractéristiques des transformateurs qui entrent en jeu dans la transmission inductive des surtensions sont mieux définies et dépendent moins du temps de montée (ou de la fréquence) que celles qui entrent en jeu dans la transmission capacitive. Pour plus de renseignements, se reporter à la littérature publiée à ce sujet.

B.3 Surtensions transmises à fréquence industrielle

Si un enroulement basse tension physiquement voisin de l'enroulement haute tension est laissé sans liaison à la terre ou est relié à la terre par une connexion de forte impédance, il y a, lorsque l'enroulement haute tension est alimenté, un risque de surtension à la fréquence industrielle par division capacitive.

Le risque est évident pour un enroulement monophasé, mais il peut également exister pour un enroulement triphasé si la tension de l'enroulement primaire devient dissymétrique, comme cela se produit lors de défauts à la terre. Dans certains cas particuliers, des résonances peuvent se produire.

Les enroulements tertiaires et de stabilisation des gros transformateurs sont soumis au même risque. Il est de la responsabilité de l'utilisateur d'empêcher qu'un enroulement tertiaire soit accidentellement relié à la terre par une impédance trop élevée. Il convient normalement de concevoir un enroulement de stabilisation de façon qu'il soit relié à la terre (cuve) de manière permanente, soit extérieurement, soit intérieurement.

La surtension est déterminée par les capacités entre enroulements et entre enroulements et terre. Celles-ci peuvent être mesurées à basse fréquence à partir des bornes du transformateur avec différents arrangements, et elles peuvent également être calculées avec une précision suffisante.

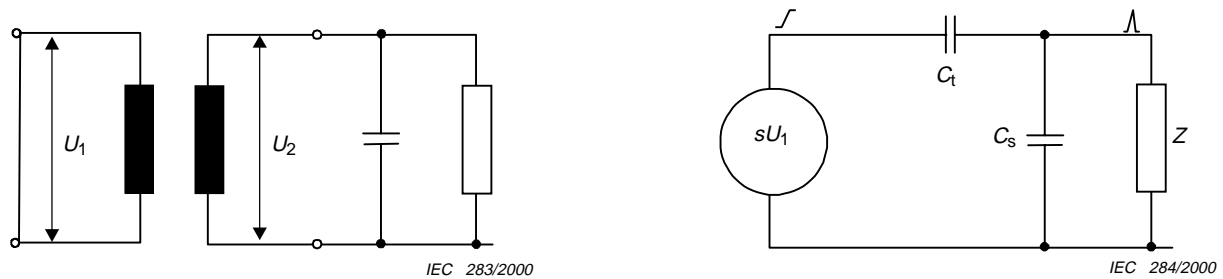


Figure B.1 – Equivalent circuit for capacitive transfer of overvoltage

B.2.3 Inductive transfer

The inductive transfer of surge voltage depends on the flow of surge current in the high-voltage winding.

If no external loading is applied to the secondary winding, the voltage transient usually has a superimposed damped oscillation with a frequency determined by leakage inductance and winding capacitances.

A reduction of the inductively transferred overvoltage component can be effected either by resistive damping through a surge diverter or by modification of the oscillation with capacitive loading. If capacitors are used, the capacitance value has usually to be of the order of tenths of microfarads. (They will therefore automatically eliminate the capacitively transferred component as long as the circuit inductance is low.)

The transformer parameters which are involved in inductive surge transfer are better defined and less dependent on rate of rise (or frequency) than those involved in capacitive transfer. For further information, see the literature on the subject.

B.3 Power-frequency transferred overvoltage

If a low-voltage winding which is physically adjacent to the high-voltage winding is left without connection to earth or with only a high-impedance connection to earth while the high-voltage winding is energized, there is a risk of power frequency overvoltage by capacitance division.

The risk is obvious for a single-phase winding, but it can also exist for a three-phase winding if the primary winding voltage becomes asymmetric, as occurs during earth faults. In particular circumstances, resonance conditions may arise.

Tertiary windings and stabilizing windings in large transformers are also subjected to the same risk. It is the responsibility of the purchaser to prevent a tertiary winding from being accidentally left with too high an impedance to earth. A stabilizing winding should normally be arranged for permanent connection to earth (tank) either externally or internally.

The overvoltage is determined by capacitances between windings and between windings and earth. These can be measured at low frequency from the terminal of the transformer in different combinations, and they can also be calculated with sufficient accuracy.

Annexe C (informative)

Renseignements concernant l'isolation du transformateur et les essais diélectriques à fournir avec un appel d'offre et avec une commande

Pour tous les enroulements:

- Valeur de U_m pour les bornes de ligne et valeurs assignées de U_m pour les bornes de neutre.
- Couplage des enroulements (Y, D ou zigzag).
- Tensions de tenue assignées constituant les niveaux d'isolement pour les bornes de ligne, voir tableau 1.
- Préciser si l'enroulement est à isolation uniforme ou non uniforme, et dans le cas d'isolation non uniforme, la tension de tenue induite en FI du neutre.
- Préciser si un niveau de tension de tenue au choc assigné est attribué au neutre et, dans un tel cas, la tension de tenue appropriée.
- Préciser l'essai de tenue au choc sur les bornes de ligne et si l'essai de choc en onde coupée est inclus.

Pour les transformateurs avec un enroulement haute tension tel que $U_m = 245$ kV:

- Préciser si l'essai de choc de manœuvre peut être omis (seulement si l'essai de tenue de tension induite en FI de courte durée est prescrit, voir tableau 1).

Pour les transformateurs avec un enroulement haute tension tel que $U_m \geq 245$ kV:

- Si l'essai induit de courte durée est prescrit, au moment de la commande, il convient de prescrire la procédure pour réaliser l'essai pour isolation uniforme suivant 12.2 et pour isolation non uniforme suivant 12.3.

Il est, de plus, recommandé qu'une discussion ait lieu concernant les schémas d'essai et les méthodes d'essai, en particulier en ce qui concerne le schéma à utiliser lors des essais par tension induite sur les transformateurs complexes avec des enroulements à haute tension à isolation non uniforme (voir 12.3 note), et la méthode à utiliser pour les essais au choc des enroulements de forte puissance à basse tension et des bornes neutre (voir 13.3). Il faut que l'installation d'équipement de protection non linéaire dans le transformateur soit indiquée par le fournisseur dans l'appel d'offre et dans la commande, et il convient que mention en soit faite dans le schéma des connexions de la plaque signalétique.

Annex C

(informative)

Information on transformer insulation and dielectric tests to be supplied with an enquiry and with an order

For all windings:

- Value of U_m for the line terminals and the assigned U_m for the neutral terminals.
- Connection of the windings (Y, D or zig-zag).
- Rated withstand voltages constituting the insulation level for line terminals, see table 1.
- Whether the winding is to have uniform or non-uniform insulation, and in the case of non-uniform insulation, the AC withstand voltages of the neutral.
- Whether a rated impulse withstand level is assigned to the neutral, and, in such a case, the appropriate withstand voltage.
- Whether the lightning impulse test on the line terminals is to include a chopped impulse test.

For transformers having a high-voltage winding with $U_m = 245$ kV:

- Whether the switching impulse test is to be omitted (only if the short-duration AC induced withstand test is specified, see table 1).

For transformers having a high-voltage winding with $U_m \geq 245$ kV:

- If the short-duration induced test is specified, the procedure for performing the test for uniform insulation according to 12.2 and for non-uniform insulation according to 12.3 should be specified.

It is further recommended that test connections and procedures should be discussed at the time of placing the order or at the design review stage, particularly with regard to the connection for induced withstand voltage tests on complicated transformers with non-uniformly insulated high-voltage windings (see 12.3, note) and the method to be used for impulse tests on high-power low-voltage windings and neutral terminals (see 13.3). The application of non-linear protection devices, built into the transformer is to be indicated by the supplier at the enquiry and at the order stage, and should be shown in the connection diagram at the rating plate.

Annexe D
(normative)

FI CD

Tableau D.1 – Tensions d’essai pour l’essai de tenue de tension induite en FI de courte durée (FI CD) pour transformateurs à isolation uniforme avec $U_m > 72,5$ kV suivant les tableaux 2 et 4 et le paragraphe 12.2.2

Tension la plus élevée pour le matériel U_m	Tension de tenue induite de courte durée ou appliquée en FI suivant les tableaux 2, 3 ou 4	Tension d’essai U_1 entre phases	Niveau d’évaluation des décharges partielles phase-terre $U_2 = 1,3 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$	Niveau d’évaluation des décharges partielles entre phases $U_2 = 1,3 U_m$
kV efficaces	kV efficaces	kV efficaces	kV efficaces	kV efficaces
100	150	150	75	130
100	185	185	75	130
123	185	185	92	160
123	230	230	92	160
145	185	185	110	185
145	230	230	110	185
145	275	275	110	185
170	230	230	130	225
170	275	275	130	225
170	325	325	130	225
245	325	325	185	320
245	360	360	185	320
245	395	395	185	320
245	460	460	185	320
300	395	395	225	390
300	460	460	225	390
362	460	460	270	470
362	510	510	270	470
420	460	460	290	505
420	510	510	290	505
420	570	570	315	545
420	630	630	315	545
550	510	510	380	660
550	570	570	380	660
550	630	630	380	660
550	680	680	380	660

NOTE 1 Pour $U = 550$ kV et pour une partie de $U = 420$ kV, il convient de réduire le niveau d’évaluation des décharges partielles à $1,2 U_m / \sqrt{3}$ et $1,2 U_m$ respectivement.

NOTE 2 Lorsque la tension de tenue FI CD U est inférieure au niveau d’évaluation U des décharges partielles entre phases, il convient de prendre U égal à U . Il convient de concevoir en conséquence les distances d’isolement internes et externes.

Annex D (normative)

ACSD

Table D.1 – Test voltages for short-duration withstand voltage test for uniformly insulated transformers with $U_m > 72,5$ kV according to tables 2 and 4 and subclause 12.2.2

Highest voltage for equipment U_m kV r.m.s.	Rated short-duration induced or separate source a.c. withstand voltage according to tables 2, 3 or 4 kV r.m.s.	Test voltage U_1 phase-to-phase kV r.m.s.	Partial discharge evaluation level phase-to-earth $U_2 = 1,3 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$ kV r.m.s.	Partial discharge evaluation level phase-to-phase $U_2 = 1,3 U_m$ kV r.m.s.
100	150	150	75	130
100	185	185	75	130
123	185	185	92	160
123	230	230	92	160
145	185	185	110	185
145	230	230	110	185
145	275	275	110	185
170	230	230	130	225
170	275	275	130	225
170	325	325	130	225
245	325	325	185	320
245	360	360	185	320
245	395	395	185	320
245	460	460	185	320
300	395	395	225	390
300	460	460	225	390
362	460	460	270	470
362	510	510	270	470
420	460	460	290	505
420	510	510	290	505
420	570	570	315	545
420	630	630	315	545
550	510	510	380	660
550	570	570	380	660
550	630	630	380	660
550	680	680	380	660

NOTE 1 For $U_m = 550$ kV and part of $U_m = 420$ kV, the p.d. evaluation level should be reduced to $1,2 U_m / \sqrt{3}$ and $1,2 U_m$ respectively.

NOTE 2 When the ACSD withstand voltage U_1 is smaller than the p.d. phase-to-phase evaluation level U_2 , U_1 should be taken as equal to U_2 . Internal and external clearances should be designed accordingly.

Tableau D.2 – Tensions d'essai pour l'essai de tenue de tension induite en F1 de courte durée (FI CD) pour transformateurs à isolation non uniforme avec $U_m > 72,5$ kV suivant les tableaux 2 et 4 et le paragraphe 12.3

Tension la plus élevée sous le matériel U_m kV efficaces	Tension de tenue induite de courte durée ou FI appliquée suivant les tableaux 2, 3 ou 4 kV efficaces	Tension d'essai U phase-terre égale à la tension entre phases kV efficaces	Niveau d'évaluation des décharges partielles phase-terre $U_2 = 1,5 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$ kV efficaces	Niveau d'évaluation des décharges partielles entre phases $U_2 = 1,3 U_m$ kV efficaces
100	150	150	87	130
100	185	185	87	130
123	185	185	107	160
123	230	230	107	160
145	185	185	125	185
145	230	230	125	185
145	275	275	125	185
170	230	230	145	225
170	275	275	145	225
170	325	325	145	225
245	325	325	215	320
245	360	360	215	320
245	395	395	215	320
245	460	460	215	320
300	395	395	260	390
300	460	460	260	390
362	460	460	315	460
362	510	510	315	460
420	460	460	365	504
420	510	510	365	504
420	570	570	365	545
420	630	630	365	545
550	510	510	475	660
550	570	570	475	660
550	630	630	475	660
550	680	680	475	660

NOTE 1 Pour $U = 550$ kV et pour une partie de $U = 420$ kV, il convient de réduire le niveau d'évaluation des décharges partielles à $1,2 U_m / \sqrt{3}$ et $1,2 U_m$ respectivement.

NOTE 2 Lorsque la tension de tenue FI CD U est inférieure au niveau d'évaluation U des décharges partielles entre phases, il convient de prendre U égal à U . Il convient de concevoir en conséquence les distances d'isolement internes et externes.

Table D.2. – Test voltages for short-duration withstand voltage test for non-uniformly insulated transformers with $U_m > 72,5$ kV according to tables 2 and 4 and subclause 12.3

Highest voltage for equipment U_m kV r.m.s.	Rated short-duration induced or separate source a.c. withstand voltage according to tables 2, 3 or 4 kV r.m.s.	Test voltage U_1 phase-to-earth equal to phase-to-phase kV r.m.s.	Partial discharge evaluation level phase-to-earth $U_2 = 1,5 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$ kV r.m.s.	Partial discharge evaluation level phase-to-phase $U_2 = 1,3 U_m$ kV r.m.s.
100	150	150	87	130
100	185	185	87	130
123	185	185	107	160
123	230	230	107	160
145	185	185	125	185
145	230	230	125	185
145	275	275	125	185
170	230	230	145	225
170	275	275	145	225
170	325	325	145	225
245	325	325	215	320
245	360	360	215	320
245	395	395	215	320
245	460	460	215	320
300	395	395	260	390
300	460	460	260	390
362	460	460	315	460
362	510	510	315	460
420	460	460	365	504
420	510	510	365	504
420	570	570	365	545
420	630	630	365	545
550	510	510	475	660
550	570	570	475	660
550	630	630	475	660
550	680	680	475	660

NOTE 1 For $U_m = 550$ kV and part of $U_m = 420$ kV, the p.d. evaluation level should be reduced to $1,2 U_m/\sqrt{3}$ and $1,2 U_m$ respectively.

NOTE 2 When the ACSD withstand voltage U_1 is smaller than the p.d. phase-to-phase evaluation level U_2 , U_1 should be taken as equal to U_2 . Internal and external clearances should be designed accordingly.



Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

1211 GENEVA 20

Switzerland





Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 Genève 20

Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembé

1211 GENÈVE 20

Suisse



Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact:
(ex. 60601-1-1)
.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

- agent d'un service d'achat
- bibliothécaire
- chercheur
- ingénieur concepteur
- ingénieur sécurité
- ingénieur d'essais
- spécialiste en marketing
- autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

- dans l'industrie
- comme consultant
- pour un gouvernement
- pour un organisme d'essais/
certification
- dans un service public
- dans l'enseignement
- comme militaire
- autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

- ouvrage de référence
- une recherche de produit
- une étude/développement de produit
- des spécifications
- des soumissions
- une évaluation de la qualité
- une certification
- une documentation technique
- une thèse
- la fabrication
- autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

- pas du tout
- à peu près
- assez bien
- parfaitement

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

- la norme a besoin d'être révisée
- la norme est incomplète
- la norme est trop théorique
- la norme est trop superficielle
- le titre est équivoque
- je n'ai pas fait le bon choix
- autre(s)

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

- publication en temps opportun
- qualité de la rédaction.....
- contenu technique
- disposition logique du contenu
- tableaux, diagrammes, graphiques,
figures
- autre(s)

Q8 Je lis/utilise: (une seule réponse)

- uniquement le texte français
- uniquement le texte anglais
- les textes anglais et français

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....
.....
.....
.....
.....
.....



ISBN 2-8318-5191-2



9 782831 851914

ICS 29.180

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND