

**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 Electrotechnique International* (IEV).

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

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'isolation 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'isolation du transformateur et les essais diélectriques à fournir avec un appel d'offre et avec une commande	102
Annexe D (normative) FI CD.....	104

Withdrawn

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

Withdrawn

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.

Withdrawn

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.

Withdrawn

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.

Withdrawal

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.

Withdrawn

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 recommande 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.

Example 1:

U_m (h.v.) = 72,5 kV and U_m (l.v.) = 12 kV, both uniformly insulated, Y connected

Insulation levels: h.v. line terminal and neutral	LI/AC	325/140 kV
l.v. line terminal and neutral	LI/AC	60/28 kV

Example 2:

U_m (h.v.) line = 245 kV, Y connected;

U_m (h.v.) neutral = 52 kV;

U_m (m.v.) line = 72,5 kV, uniform insulation, Y connected;

U_m (l.v.) line = 24 kV, D connected.

Insulation levels: h.v. line terminal	SI/LI	650/850 kV
h.v. neutral	LI/AC	250/95 kV
m.v. line terminal and neutral	LI/AC	325/140 kV
l.v. line terminal	LI/AC	125/50 kV

Example 3:

Auto-transformer with U_m = 420 kV and 145 kV with an assigned U_m = 17,5 kV for the neutral for direct earth connection, Y connected. U_m (l.v.) line terminal = 24 kV, D connected.

Insulation levels: h.v. line terminal	SI/LI	1 050/1 300 kV
m.v. line terminal	LI/AC	550/230 kV
h.v./m.v. neutral	LI/AC	–/38 kV
l.v. line terminal	LI/AC	125/50 kV

or if additionally a short-duration induced test is required:

Insulation levels: h.v. line terminal	SI/LI/AC	1 050/1 300/570 kV
m.v. line terminal	LI/AC	550/230 kV
h.v./m.v. neutral	LI/AC	–/38 kV
l.v. line terminal	LI/AC	125/50 kV

6 Rules for some particular transformers

In transformers where uniformly insulated windings having different U_m values are connected together within the transformer (usually auto-transformers), the separate source AC withstand test voltages shall be determined by the insulation of the common neutral and its assigned U_m .

In transformers which have one or more non-uniformly insulated windings, the test voltages for the induced withstand voltage test, and for the switching impulse test if used, are determined by the winding with the highest U_m value, and the windings with lower U_m values may not receive their appropriate test voltages. This discrepancy should normally be accepted. If the ratio between the windings is variable by tapplings, this should be used to bring the test voltage for the winding with lower U_m voltage as close as possible to the appropriate value.

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 tapplings 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
	450	185
123	550	230
145	650	275
170	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
	380	
100	450	185
123	550	230
145	650	275
170	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	110	34	34
	125	–	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 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	110	34	34
	125	–	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.