



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XA**
CODE PRIX

ICS 29.180

ISBN 978-2-83220-830-4

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions.....	7
4 General.....	8
5 Highest voltage for equipment and rated insulation level.....	10
6 Transformers with re-connectable windings.....	11
7 Dielectric tests.....	12
7.1 Overview.....	12
7.2 Test requirements.....	13
7.2.1 General.....	13
7.2.2 Test voltage levels.....	14
7.2.3 Test sequence.....	17
7.3 Test requirements for specific transformers.....	17
7.3.1 Tests for transformers with $U_m \leq 72,5$ kV.....	17
7.3.2 Tests on transformers with $72,5$ kV < $U_m \leq 170$ kV.....	18
7.3.3 Tests on Transformers with $U_m > 170$ kV.....	19
7.4 Assigning U_m and test voltages to the neutral terminal of a winding.....	20
7.4.1 Transformers with $U_m \leq 72,5$ kV.....	20
7.4.2 Transformers with $U_m > 72,5$ kV.....	20
8 Dielectric tests on transformers that have been in service.....	20
9 Insulation of auxiliary wiring (AuxW).....	21
10 Applied voltage test (AV).....	21
11 Induced voltage tests (IVW and IVPD).....	22
11.1 General.....	22
11.2 Induced voltage withstand test (IVW).....	22
11.3 Induced voltage test with partial discharge measurement (IVPD).....	23
11.3.1 General.....	23
11.3.2 Test duration and frequency.....	23
11.3.3 Test sequence.....	23
11.3.4 Partial discharge (PD) measurement.....	24
11.3.5 Test acceptance criteria.....	25
12 Line terminal AC withstand test (LTAC).....	25
13 Lightning impulse tests (LI, LIC, LIN, LIMT).....	26
13.1 Requirements for all lightning impulse tests.....	26
13.1.1 General.....	26
13.1.2 Tap positions.....	26
13.1.3 Records of tests.....	26
13.1.4 Test connections.....	27
13.2 Full wave lightning impulse test (LI).....	28
13.2.1 Wave shape, determination of test voltage value and tolerances.....	28
13.2.2 Tests on transformers without non-linear elements.....	29
13.2.3 Tests on transformers with non-linear elements.....	30
13.3 Chopped wave lightning impulse test (LIC).....	31

13.3.1	Wave shape.....	31
13.3.2	Tests on transformers without non-linear elements.....	31
13.3.3	Tests on transformers with non-linear elements.....	32
13.4	Lightning impulse test on a neutral terminal (LIN).....	33
13.4.1	General	33
13.4.2	Waveshape.....	33
13.4.3	Test sequence	34
13.4.4	Test criteria	34
14	Switching impulse test (SI).....	34
14.1	General	34
14.2	Test connections	34
14.3	Waveshape	35
14.4	Test sequence.....	35
14.5	Test criteria	35
15	Action following test failure	36
16	External clearances in air.....	36
16.1	General	36
16.2	Clearance requirements.....	37
Annex A (informative)	Application guide for partial discharge measurements on transformers	40
Annex B (informative)	Overtoltage transferred from the high-voltage winding to a low-voltage winding.....	45
Annex C (informative)	Information on transformer insulation and dielectric tests to be supplied with an enquiry and with an order	47
Annex D (informative)	Neutral insulation voltage level calculation	50
Annex E (informative)	Basis for dielectric tests, insulation levels and clearances	53
Bibliography	56
Figure 1	– Time sequence for the application of test voltage for induced voltage test with partial discharge measurement (IVPD)	24
Figure A.1	– Calibration circuit for partial discharge measurement using the test tap of condenser type bushing.....	41
Figure A.2	– Circuit for partial discharge measurement using a high-voltage coupling capacitor.....	42
Figure B.1	– Equivalent circuit for capacitive transfer of overvoltage	46
Table 1	– Requirements and tests for different categories of windings.....	14
Table 2	– Test voltage levels (1 of 2).....	15
Table 3	– Test voltage levels used in special cases	16
Table 4	– Minimum clearances in air (1 of 2)	38

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –

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

FOREWORD

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

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

This third edition of IEC 60076-3 cancels and replaces the second edition published in 2000, and constitutes a technical revision. The main changes from the previous edition are as follows:

- Three categories of transformer are clearly identified together with the relevant test requirements, these are summarised in Table 1.
- Switching impulse levels are defined for all $U_m > 72,5kV$.
- The procedure for Induced voltage tests with PD has been revised to ensure adequate phase to phase test voltages.
- The AC withstand test has been redefined (LTAC instead of ACSD).
- Induced voltage tests are now based on U_r rather than U_m .
- New requirements for impulse waveshape (k factor) have been introduced.

- Tables of test levels have been merged and aligned with IEC 60071-1:2010.
- Additional test levels have been introduced for $U_m > 800\text{kV}$.
- A new Annex E has been introduced, which sets out the principles used in assigning the tests, test levels and clearances in air.

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

FDIS	Report on voting
14/745/FDIS	14/749/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 2.

A list of all the parts in the IEC 60076 series, under the general title *Power transformers*, can be found on the IEC website.

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

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

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 external clearances in air (Clause 16).

The insulation levels and dielectric tests which are specified 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 should be adjusted to fully cover the internal insulation test requirements.

Annex E sets out some of the principles used in assigning the tests, test levels and clearances in air to the transformer according to the highest voltage for equipment U_m .

POWER TRANSFORMERS –

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

1 Scope

This International Standard applies to power transformers as defined by and in the scope of IEC 60076-1. It gives details of the applicable dielectric tests and minimum dielectric test levels. Recommended minimum external clearances in air between live parts and between live parts and earth are given for use when these clearances are not specified by the purchaser.

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 documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

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

IEC 60137, *Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 V*

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	60
INTRODUCTION	62
1 Domaine d'application	63
2 Références normatives	63
3 Termes et définitions	63
4 Généralités	64
5 Tension la plus élevée pour le matériel et niveau d'isolement assigné	66
6 Transformateurs avec enroulements reconnectables	68
7 Essais diélectriques	68
7.1 Vue d'ensemble	68
7.2 Exigences d'essai	71
7.2.1 Généralités	71
7.2.2 Niveaux de tension d'essai	72
7.2.3 Séquence d'essai	75
7.3 Exigences d'essai concernant les transformateurs spécifiques	76
7.3.1 Essais pour transformateurs avec $U_m \leq 72,5$ kV	76
7.3.2 Essais sur transformateurs avec $72,5$ kV < $U_m \leq 170$ kV	77
7.3.3 Essais sur transformateurs avec $U_m > 170$ kV	78
7.4 Attribution de valeurs de tensions U_m et d'essai à la borne neutre d'un enroulement	79
7.4.1 Transformateurs avec $U_m \leq 72,5$ kV	79
7.4.2 Transformateurs avec $U_m > 72,5$ kV	79
8 Essais diélectriques sur des transformateurs ayant déjà été mis en service	79
9 Isolement des circuits auxiliaires (AuxW)	80
10 Essai de tension appliquée (AV)	80
11 Essais de tension induite (IVW et IVPD)	81
11.1 Généralités	81
11.2 Essai de tenue de tension induite (IVW)	82
11.3 Essai de tension induite avec mesure des décharges partielles (IVPD)	82
11.3.1 Généralités	82
11.3.2 Durée et fréquence d'essai	82
11.3.3 Séquence d'essai	82
11.3.4 Mesure des décharges partielles (DP)	84
11.3.5 Critères d'acceptation de l'essai	84
12 Essai de tenue de tension alternative d'une borne de ligne (LTAC)	85
13 Essais au choc de foudre (LI, LIC, LIN, LIMT)	85
13.1 Exigences concernant tous les essais au choc de foudre	85
13.1.1 Généralités	85
13.1.2 Positions des prises	86
13.1.3 Enregistrements des essais	86
13.1.4 Connexions d'essai	87
13.2 Essai au choc de foudre en onde pleine (LI)	88
13.2.1 Forme d'onde, détermination de la valeur de la tension d'essai et des tolérances	88
13.2.2 Essais sur les transformateurs sans éléments non linéaires	89
13.2.3 Essais sur les transformateurs avec éléments non linéaires	90

13.3	Essai au choc de foudre en onde coupée (LIC)	91
13.3.1	Forme d'onde.....	91
13.3.2	Essais sur les transformateurs sans éléments non linéaires	92
13.3.3	Essais sur les transformateurs avec éléments non linéaires	92
13.4	Essai au choc de foudre sur une borne neutre (LIN).....	94
13.4.1	Généralités	94
13.4.2	Forme d'onde.....	94
13.4.3	Séquence d'essai.....	94
13.4.4	Critères d'essai.....	94
14	Essai au choc de manœuvre (SI)	94
14.1	Généralités	94
14.2	Connexions d'essai.....	95
14.3	Forme d'onde	95
14.4	Séquence d'essai	96
14.5	Critères d'essai.....	96
15	Mesure prise suite à un défaut en essais.....	96
16	Distances d'isolement dans l'air	97
16.1	Généralités	97
16.2	Exigences concernant les distances d'isolement	98
Annexe A (informative) Guide d'application pour les mesures de décharges partielles sur les transformateurs		101
Annexe B (informative) Surtension transmise de l'enroulement haute tension à un enroulement basse tension		106
Annexe C (informative) Informations concernant l'isolation du transformateur et les essais diélectriques à fournir avec un appel d'offres et avec une commande		109
Annexe D (informative) Calcul du niveau de tension avec isolement des bornes neutres		112
Annexe E (informative) Base applicable aux essais diélectriques, niveaux d'isolement et distances d'isolement.....		115
Bibliographie		118
Figure 1 – Séquence d'application de la tension d'essai pour la tension induite avec mesure de décharges partielles (IVPD).....		84
Figure A.1 – Circuit d'étalonnage pour la mesure des décharges partielles utilisant la prise d'essai d'une traversée à condensateur		102
Figure A.2 – Circuit pour mesure des décharges partielles utilisant un condensateur de liaison haute tension		103
Figure B.1 – Circuit équivalent pour la transmission capacitive de surtension.....		107
Tableau 1 – Exigences et essais pour différentes catégories d'enroulements		71
Tableau 2 – Niveaux de tension d'essai (1 de 2)		73
Tableau 3 – Niveaux de tension d'essai utilisés dans des cas particuliers		75
Tableau 4 – Distances minimales d'isolement dans l'air (1 de 2)		99

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

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

AVANT-PROPOS

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

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

Cette troisième édition de la CEI 60076-3 annule et remplace la deuxième édition parue en 2000, dont elle constitue une révision technique. Les modifications principales par rapport à l'édition antérieure sont les suivantes:

- Trois catégories de transformateurs sont clairement identifiées ainsi que les exigences d'essais correspondantes, elles sont résumées dans le Tableau 1.
- Les niveaux de tenue au choc de manœuvre sont définis pour toutes les valeurs de $U_m > 72,5kV$.
- La procédure d'essais de tension induite avec PD a été révisée pour garantir des tensions d'essais entre phase adéquates.

- L'essai de tenue en tension alternative a été redéfini (LTAC à la place de ACSD).
- Les niveaux d'essais de tenue en tension induite sont à présent fondés sur U_r plutôt que sur U_m .
- De nouvelles exigences relatives à la forme de l'onde de choc (facteur k) ont été introduites.
- Les tableaux des niveaux d'essai ont été fusionnés et leurs valeurs alignés sur celles de la CEI 60071-1:2010.
- Des niveaux d'essai supplémentaires ont été introduits pour $U_m > 800\text{kV}$.
- Une nouvelle Annexe E a été introduite, qui fixe certains des principes utilisés pour le choix des essais, des niveaux d'essai et des distances d'isolement dans l'air.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/745/FDIS	14/749/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 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60076, présentées sous le titre général *Transformateurs de puissance*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 60076 spécifie les exigences d'isolement et d'essais diélectriques correspondants en faisant référence aux enroulements spécifiques et à leurs bornes. Elle recommande également les distances d'isolement dans l'air (Article 16).

Les niveaux d'isolement et les essais diélectriques qui sont spécifiés dans la présente norme s'appliquent uniquement à l'isolation interne. Il convient que les valeurs de tension de tenue assignée spécifiées pour l'isolation interne du transformateur soient également 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 auto-régénératrice 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. Par conséquent, il est possible que soient spécifiées par l'acheteur pour accroître la sûreté de fonctionnement, des tensions d'essai plus élevées pour l'isolation interne du transformateur, que pour l'isolation externe des autres composants du réseau. Lorsqu'une telle distinction est faite, il convient que les distances d'isolement externes soient ajustées afin de satisfaire pleinement aux exigences d'essai de l'isolation interne.

L'Annexe E énonce certains des principes utilisés pour le choix des essais, des niveaux d'essai et des distances d'isolement dans l'air des transformateurs en fonction de la tension la plus élevée pour le matériel U_m .

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 définis dans le domaine d'application de la CEI 60076-1. Elle fournit les détails des essais diélectriques et des niveaux d'essai diélectriques minimum applicables. Des distances d'isolement dans l'air minimales recommandées entre les parties sous tension et entre ces dernières et la terre sont précisées pour être utilisées lorsque ces distances dans l'air ne sont pas spécifiées par l'acheteur.

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 les autres normes.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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 – Partie 1: Définitions et exigences générales*

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

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

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

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

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