

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60076-11

Première édition
First edition
2004-05

Transformateurs de puissance –

**Partie 11:
Transformateurs de type sec**

Power transformers –

**Part 11:
Dry-type transformers**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60076-11:2004

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. 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 also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60076-11

Première édition
First edition
2004-05

Transformateurs de puissance –

**Partie 11:
Transformateurs de type sec**

Power transformers –

**Part 11:
Dry-type transformers**

© IEC 2004 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, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

W

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	8
1 Domaine d'application	12
2 Références normatives	12
3 Définitions	14
4 Conditions de service	14
4.1 Généralités	14
4.2 Conditions normales de service	14
4.3 Compatibilité électromagnétique (CEM)	16
4.4 Dispositions pour conditions de service exceptionnelles	16
4.5 Conditions de transport et de stockage	18
5 Prises	18
6 Connexions	18
7 Tenue au court-circuit	18
8 Caractéristiques	20
8.1 Généralités	20
8.2 Puissance assignée	20
8.3 Valeurs préférentielles de puissance assignée	20
8.4 Fonctionnement avec tension supérieure à la tension assignée	20
8.5 Fonctionnement avec refroidissement par ventilateur	20
8.6 Fonctionnement avec enveloppe	20
9 Plaque signalétique	22
9.1 Plaque signalétique fixée sur le transformateur	22
9.2 Plaque signalétique fixée sur l'enveloppe du transformateur	22
10 Désignation suivant le mode de refroidissement	22
10.1 Symboles de désignation	22
10.2 Disposition des symboles	24
11 Limites d'échauffement	24
11.1 Limites normales d'échauffement	24
11.2 Réduction des échauffements dans le cas de transformateurs prévus pour une température élevée de l'air de refroidissement ou pour des conditions spéciales de refroidissement par air	26
11.3 Correction d'échauffement prévue pour des altitudes élevées	26
12 Niveaux d'isolement;	26
12.1 Généralités	26
12.2 Transformateurs pour utilisation à des altitudes élevées	30
13 Classes climatiques, d'environnement et de comportement au feu	30
13.1 Classes climatiques	30
13.2 Classes d'environnement	30
13.3 Classe de comportement au feu	30
13.4 Critères d'essai pour les classes climatiques, d'environnement et de comportement au feu	32
14 Prescriptions générales pour les essais	32
15 Mesure de la résistance des enroulements (essai individuel)	32

CONTENTS

FOREWORD.....	9
1 Scope.....	13
2 Normative references	13
3 Definitions	15
4 Service conditions	15
4.1 General	15
4.2 Normal service conditions	15
4.3 Electromagnetic compatibility (EMC)	17
4.4 Provision for unusual service conditions	17
4.5 Transport and storage conditions	19
5 Tappings	19
6 Connections	19
7 Ability to withstand short circuit	19
8 Rating	21
8.1 General	21
8.2 Rated power	21
8.3 Preferred values of rated power	21
8.4 Operation at higher than rated voltage	21
8.5 Operation with fan cooling	21
8.6 Operation in an enclosure	21
9 Rating plate	23
9.1 Rating plate fitted to the transformer	23
9.2 Rating plate fitted to the transformer enclosure	23
10 Identification according to cooling method	23
10.1 Identification symbols	23
10.2 Arrangement of symbols	25
11 Temperature-rise limits	25
11.1 Normal temperature-rise limits	25
11.2 Reduced temperature rises for transformers designed for high cooling air temperatures or special air cooling conditions	27
11.3 High altitude temperature rise correction	27
12 Insulation levels	27
12.1 General	27
12.2 Transformers for use at high altitudes	31
13 Climatic, environmental and fire behaviour classes.....	31
13.1 Climatic classes	31
13.2 Environmental classes	31
13.3 Fire behaviour classes	31
13.4 Test criteria for climatic, environmental and fire behaviour classes.....	33
14 General requirements for tests	33
15 Measurement of winding resistance (routine test)	33

16	Mesure du rapport de tension et contrôle du déphasage (essai individuel).....	34
17	Mesure de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge (essai individuel).....	34
18	Mesure des pertes et du courant à vide (essai individuel).....	34
19	Essai de tenue par tension appliquée à fréquence industrielle (essai individuel).....	34
20	Essai de tenue par tension induite à fréquence industrielle (essai individuel)	34
21	Essai au choc de foudre (essai de type)	36
22	Mesure des décharges partielles (essai de routine et spécial)	36
22.1	Généralités.....	36
22.2	Circuit de mesure de base (seulement typique)	36
22.3	Etalonnage du circuit de mesure	36
22.4	Application de la tension	38
22.5	Niveaux d'acceptation des décharges partielles	40
23	Essai d'échauffement (essai de type)	42
23.1	Généralités.....	42
23.2	Méthode de mise en charge	42
23.3	Correction d'échauffement des enroulements en cas de courant réduit	48
23.4	Détermination des conditions d'équilibre thermique	48
24	Mesure du niveau de bruit (essai spécial).....	48
25	Essai de tenue au court-circuit (essai spécial).....	50
26	Essai d'environnement (essai spécial).....	50
26.1	Généralités.....	50
26.2	Validité de l'essai	50
26.3	Procédures d'essai.....	50
27	Essai climatique (essai spécial).....	52
27.1	Essai de choc thermique (essai spécial).....	52
27.2	Validité de l'essai	52
27.3	Essai de choc thermique pour transformateurs de classe C1	54
27.4	Essai de choc thermique pour transformateurs de classe C2.....	56
28	Essai de comportement au feu (essai spécial).....	56
28.1	Généralités.....	56
28.2	Contrôle de l'émission de gaz corrosifs et nocifs	56
28.3	Essai de comportement au feu pour transformateurs de classe F1	58
28.4	Quantités à mesurer et dispositifs de mesure	62
28.5	Etalonnage de la salle d'essai sans matériel en essai	62
28.6	Méthodes d'essai	62
28.7	Rapport d'essai	64
28.8	Critères pour l'évaluation des résultats d'essai.....	64
29	Tolérances	66
30	Protection contre le contact direct	66
31	Degrés de protection procurés par les enveloppes	66
32	Bornes de mise à la terre	66
33	Information demandée à l'appel d'offre et à la commande	66
Annexe A (informative) Installation et sécurité des transformateurs secs		72

16	Measurement of voltage ratio and check of phase displacement (routine test)	35
17	Measurement of short-circuit impedance and load loss (routine test)	35
18	Measurement of no-load loss and current (routine test)	35
19	Separate-source AC withstand voltage test (routine test)	35
20	Induced AC withstand voltage test (routine test)	35
21	Lightning impulse test (type test)	37
22	Partial discharge measurement (routine and special test)	37
22.1	General	37
22.2	Basic measuring circuit (typical only)	37
22.3	Calibration of the measuring circuit	37
22.4	Voltage application	39
22.5	Partial discharge acceptance levels	41
23	Temperature-rise test (type test)	43
23.1	General	43
23.2	Methods of loading	43
23.3	Winding temperature-rise correction for reduced current	49
23.4	Determination of steady state conditions	49
24	Measurement of sound level (special test)	49
25	Short-circuit test (special test)	51
26	Environmental test (special test)	51
26.1	General	51
26.2	Validity of the test	51
26.3	Testing procedure	51
27	Climatic test (special test)	53
27.1	Thermal shock test (special test)	53
27.2	Validity of the test	53
27.3	Thermal shock test for C1 class transformers	55
27.4	Thermal shock test for C2 class transformers	57
28	Fire behaviour test (special test)	57
28.1	General	57
28.2	Checking of corrosive and harmful gases emission	57
28.3	Fire behaviour test for F1 class transformer	59
28.4	Quantities to be measured and measuring devices	63
28.5	Calibration of the test chamber without test object	63
28.6	Test method	63
28.7	Test report	65
28.8	Criteria for evaluating the test results	65
29	Tolerances	67
30	Protection against direct contact	67
31	Degrees of protection provided by enclosures	67
32	Earthing terminal	67
33	Information required with enquiry and order	67
	Annex A (informative) Installation and safety of dry-type transformers	73

Figure 1 – Circuit de mesure de base pour l'essai des décharges partielles pour un transformateur monophasé	38
Figure 2 – Circuit de mesure de base pour l'essai des décharges partielles pour un transformateur triphasé.....	38
Figure 3 – Application de la tension pour l'essai de décharges partielles de routine.....	40
Figure 4 – Application de la tension pour l'essai de décharges partielles spécial	40
Figure 5 – Exemple de méthode de récupération – monophasé	46
Figure 6 – Exemple de méthode de récupération – triphasé.....	46
Figure 7 – Salle d'essai	68
Figure 8 – Détails de la salle d'essai.....	70
Tableau 1 – Symboles littéraux.....	24
Tableau 2 – Limites d'échauffement d'enroulement.....	26
Tableau 3 – Niveaux d'isolement basés sur une pratique européenne.....	28
Tableau 4 – Niveaux d'isolement basés sur une pratique américaine.....	28
Tableau 5 – Séquence des essais.....	32
Tableau 6 – Dimensions de la salle d'essai (voir Figures 7 et 8).....	60

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-11:2004

Figure 1 – Basic measuring circuit for the partial discharge test for a single-phase transformer	39
Figure 2 – Basic measuring circuit for the partial discharge test for a three-phase transformer	39
Figure 3 – Voltage application for routine partial discharge test	41
Figure 4 – Voltage application for special partial discharge test	41
Figure 5 – Example of back-to-back method – Single phase.	47
Figure 6 – Example of back-to-back method – Three-phase	47
Figure 7 – Test chamber	69
Figure 8 – Test chamber details	71
 Table 1 – Letter symbols	 25
Table 2 – Winding temperature-rise limits	27
Table 3 – Insulation levels based on European practice	29
Table 4 – Insulation levels based on North American practice	29
Table 5 – sequence of tests	33
Table 6 – Dimensions of test chamber (see Figures 7 and 8)	61

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –**Partie 11: Transformateurs de type sec****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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 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 60076-11 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Cette norme annule et remplace la CEI 60726 (1982) et son amendement 1 (1986).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/476/FDIS	14/484/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.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –**Part 11: Dry-type transformers****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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 60076-11 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

This standard cancels and replaces IEC 60726 (1982) and its amendment 1 (1986).

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

FDIS	Report on voting
14/476/FDIS	14/484/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.

La CEI 60076 se compose des parties suivantes, sous le titre général *Transformateurs de puissance*:

- Partie 1: Généralités
- Partie 2: Echauffement
- Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air
- Partie 4: Guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manœuvre – Transformateurs de puissance et bobines d'inductance
- Partie 5: Tenue au court-circuit
- Partie 6: Bobines d'inductance ¹
- Partie 7: Guide de charge pour transformateurs de puissance immergés dans l'huile ¹
- Partie 8: Guide d'application
- Partie 10: Détermination des niveaux de bruit (disponible en anglais seulement)
- Partie 10-1: Détermination des niveaux acoustiques de transformateur et de bobine d'inductance – Guide d'utilisateur ¹
- Partie 11: Transformateurs de type sec
- Partie 12: Guide de charge pour transformateurs de puissance du type sec ¹
- Partie 13: Self protected liquid filled transformers (titre disponible en anglais seulement) ¹
- Partie 14: Guide for the design and application of liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials (titre disponible en anglais seulement) ¹
- Partie 15: Gas-filled-type power transformers (titre disponible en anglais seulement) ¹

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2006. A cette date, la publication sera

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

¹ A l'étude.

IEC 60076 consists of the following parts, under the general title *Power transformers*:

- Part 1: General
- Part 2: Temperature rise
- Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
- Part 4: Guide to lightning impulse and switching impulse testing – Power transformers and reactors
- Part 5: Ability to withstand short-circuit
- Part 6: Reactors ¹
- Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers ¹
- Part 8: Application guide
- Part 10: Determination of sound levels
- Part 10-1: Determination of transformer and reactor sound levels – User guide ¹
- Part 11: Dry-type transformers
- Part 12: Loading guide for dry-type power transformers ¹
- Part 13: Self protected liquid filled transformers ¹
- Part 14: Guide for the design and application of liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials ¹
- Part 15: Gas-filled-type power transformers ¹

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2006. At this date, the publication will be

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

¹ Under consideration.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 11: Transformateurs de type sec

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60076 s'applique aux transformateurs de type sec (y compris les autotransformateurs) ayant des valeurs de tension la plus élevée pour le matériel inférieures ou égales à 36 kV avec au moins un enroulement fonctionnant à plus de 1,1 kV. Cette norme s'applique à toutes les technologies de construction.

La présente norme ne s'applique pas aux:

- transformateurs de type sec avec un diélectrique gazeux autre que l'air;
- transformateurs monophasés de moins de 5 kVA;
- transformateurs polyphasés de moins de 15 kVA;
- transformateurs de mesure (voir la CEI 60044 et la CEI 60186);
- transformateurs de démarrage;
- transformateurs d'essai;
- transformateurs de traction montés sur équipement roulant;
- transformateurs antidéflagrant et de mines;
- transformateurs de soudure;
- transformateurs de réglage de tension;
- petits transformateurs de puissance pour lesquels la sécurité est spécialement à prendre en compte.

Lorsqu'il n'existe pas de norme CEI pour les transformateurs mentionnés ci-dessus ou pour d'autres transformateurs spéciaux, la présente norme peut être appliquée en tout ou en partie.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire électrotechnique international (VEI)*

CEI 60071 (toutes les parties), *Coordination de l'isolement*

CEI 60076-1:1993, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*
Amendement 1 (1999)

CEI 60076-2, *Transformateurs de puissance – Partie 2: Echauffement*

CEI 60076-3, *Transformateurs de puissance – Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air*

POWER TRANSFORMERS –

Part 11: Dry-type transformers

1 Scope

This part of IEC 60076 applies to dry-type power transformers (including auto-transformers) having values of highest voltage for equipment up to and including 36 kV and at least one winding operating at greater than 1,1 kV. The standard applies to all construction technologies.

This standard does not apply to:

- gas-filled dry type transformers where the gas is not air;
- single-phase transformers rated at less than 5 kVA;
- polyphase transformers rated at less than 15 kVA;
- instrument transformers (see IEC 60044 and IEC 60186);
- starting transformers;
- testing transformers;
- traction transformers mounted on rolling stock;
- flameproof and mining transformers;
- welding transformers;
- voltage regulating transformers;
- small power transformers in which safety is a special consideration.

Where IEC standards do not exist for the transformers mentioned above or for other special transformers, this standard may be applicable as a whole or in parts.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050 (all parts), *International electrotechnical vocabulary (IEV)*

IEC 60071 (all parts), *Insulation co-ordination*

IEC 60076-1:1993, *Power transformers – Part 1: General*
Amendment 1 (1999)

IEC 60076-2, *Power transformers – Part 2: Temperature rise*

IEC 60076-3, *Power transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air*

CEI 60076-5, *Transformateurs de puissance – Partie 5: Tenue au court-circuit*

CEI 60076-10, *Transformateurs de puissance – Partie 10: Détermination des niveaux de bruit*
(disponible en anglais seulement)

CEI 60085, *Evaluation et classification thermiques de l'isolation électrique*

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

CEI 60332-3-10, *Essais des câbles électriques soumis au feu – Partie 3-10: Essai de propagation verticale de la flamme des fils ou câbles en nappes en position verticale – Appareillages*

CEI 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP)*

CEI 60905:1987, *Guide de charge pour transformateurs de puissance du type sec*

CEI 61330, *Postes préfabriquées haute tension/basse tension*

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente parties de la CEI 60076, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

transformateur de type sec

transformateur pour lequel le circuit magnétique et les enroulements ne sont pas immergés dans un liquide isolant

3.2

transformateur de type sec sous enveloppe entièrement hermétique

transformateur installé dans une enveloppe hermétique non pressurisée, refroidi par circulation intérieure de l'air

3.3

transformateur de type sec sous enveloppe non hermétique

transformateur installé dans une enveloppe ventilée, refroidi par circulation de l'air extérieur

3.4

transformateur de type sec sans enveloppe

transformateur sans habillage de protection refroidi par ventilation naturelle ou forcée

4 Conditions de service

4.1 Généralités

Les exigences de la CEI 60076-1 ne s'appliquent aux transformateurs de type sec que si elles font l'objet d'une référence dans cette norme.

4.2 Conditions normales de service

4.2.1 Généralités

Sauf spécification contraire, les conditions de service indiquées de 4.2.2 à 4.2.6 s'appliquent. Quand les transformateurs doivent fonctionner en dehors des conditions normales de service, un déclassement de puissance s'applique en accord avec 11.2 et/ou 11.3.

IEC 60076-5, *Power transformers – Part 5: Ability to withstand short-circuit*

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

IEC 60085, *Thermal evaluation and classification of electrical insulation*

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

IEC 60332-3-10, *Tests on electric cables under fire conditions – Part 3-10: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables – Apparatus*

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60905:1987, *Loading guide for dry-type power transformers*

IEC 61330, *High-voltage/low voltage prefabricated substations*

3 Terms and definitions

For the purpose of this part of IEC 60076, the following terms and definitions apply.

3.1

dry-type transformer

transformer of which the magnetic circuit and windings are not immersed in an insulating liquid

3.2

totally enclosed dry-type transformer

transformer in an un-pressurised enclosure cooled by the circulation of the internal air

3.3

enclosed dry-type transformer

transformer in a ventilated enclosure cooled by the circulation of the external air

3.4

non-enclosed dry-type transformer

transformer supplied without a protective enclosure cooled by natural or forced air ventilation

4 Service conditions

4.1 General

The requirements of IEC 60076-1 apply to dry-type transformers only in so far as they are referred to in this standard.

4.2 Normal service conditions

4.2.1 General

Unless otherwise stated, the service conditions in 4.2.2 to 4.2.6 apply. When transformers are required to operate outside the normal service conditions, de-rating in accordance with 11.2 and/or 11.3 applies.

4.2.2 Altitude

Altitude n'excédant pas 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.

4.2.3 Température de l'air de refroidissement

La température de l'air de refroidissement n'excède pas:

- 40 °C dans tous les cas;
- 30 °C en moyenne mensuelle du mois le plus chaud;
- 20 °C en moyenne annuelle.

et n'est pas inférieure à:

- 25 °C dans le cas des transformateurs de type extérieur;
- 5 °C dans le cas des transformateurs de type intérieur;

les moyennes mensuelles et annuelles étant définies en 3.12 de la CEI 60076-1.

4.2.4 Forme d'onde de la tension d'alimentation

La tension d'alimentation doit avoir une forme d'onde approximativement sinusoïdale.

NOTE Cette exigence n'est normalement pas critique dans des systèmes d'alimentation publics mais peut devoir être prise en considération pour des installations avec charge importante de convertisseur. Dans ce cas, il existe une règle conventionnelle stipulant que la déformation ne doit pas dépasser 5 % du total des harmoniques, ni 1 % de chaque harmonique, se reporter à la CEI 61000-2-4. Il faut noter également l'importance des courants harmoniques pour les pertes en charge et l'échauffement, se reporter à la CEI 61378-1.

4.2.5 Symétrie des tensions d'alimentation polyphasées

L'alimentation des transformateurs triphasés est faite par un système triphasé pratiquement symétrique.

4.2.6 Humidité

L'humidité relative de l'air ambiant environnant doit être inférieure à 93 %. Aucune goutte d'eau ne doit se trouver à la surface des bobines.

4.3 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Les transformateurs doivent être considérés comme des éléments passifs par rapport à l'émission des perturbations électromagnétiques et l'immunité à ces perturbations.

4.4 Dispositions pour conditions de service exceptionnelles

L'acheteur doit préciser, dans son appel d'offres, toutes les conditions de service non prévues dans les conditions de service normales de 4.2. Les exemples de telles conditions sont:

- température ambiante élevée ou basse en dehors des limites prévues en 4.2.3;
- ventilation insuffisante;
- altitude élevée en dehors des limites prévues en 4.2.2;
- fumées et vapeurs préjudiciables;
- vapeur;
- humidité en dehors des limites prescrites en 4.2.6;
- ruissellement d'eau;
- ambiance saline;

4.2.2 Altitude

A height above sea level not exceeding 1 000 m.

4.2.3 Temperature of cooling air

The temperature of cooling air not exceeding:

- 40 °C at any time;
- 30 °C monthly average of the hottest month;
- 20 °C yearly average.

and not below:

- 25 °C in the case of outdoor transformers;
- 5 °C in the case of indoor transformers.

where the monthly and yearly averages are as defined in 3.12 of IEC 60076-1.

4.2.4 Wave-shape of supply voltage

A supply voltage of which the waveshape is approximately sinusoidal.

NOTE This requirement is normally not critical in public supply systems but may have to be considered in installations with considerable converter loading. In such cases, there is a conventional rule that the deformation shall neither exceed 5 % total harmonic content nor 1 % even harmonic content, see IEC 61000-2-4. Also note the importance of current harmonics for load loss and temperature rise, see IEC 61378-1.

4.2.5 Symmetry of polyphase supply voltages

For three-phase transformers, a set of three-phase supply voltages which are approximately symmetrical.

4.2.6 Humidity

The relative humidity of the surrounding air shall be less than 93 %. No drops of water shall be present on the surface of the coils.

4.3 Electromagnetic compatibility (EMC)

Transformers shall be considered as passive elements in respect to emission and immunity to electromagnetic disturbances.

4.4 Provision for unusual service conditions

The purchaser shall identify in his enquiry any service conditions not covered by the normal service conditions in 4.2. Examples of such conditions are:

- high or low ambient temperature outside the limits prescribed in 4.2.3;
- restricted ventilation;
- altitude in excess of the limit prescribed in 4.2.2;
- damaging fumes and vapours;
- steam;
- humidity in excess of the limit prescribed in 4.2.6;
- dripping water;
- salt spray;

- poussières abrasives excessives;
- harmoniques de courant générées par la charge;
- distorsion de la forme d'onde de la tension d'alimentation;
- surtensions transitoires rapides en dehors des limites prévues en 12.1 et à l'Article 21;
- association de compensateur de puissance réactive et système d'enclenchement de condensateurs afin de limiter le courant d'enclenchement;
- courant continu superposé;
- contraintes sismiques qui nécessiteraient par ailleurs des considérations spéciales de conception;
- vibrations et chocs mécaniques importants;
- conditions de transport et de stockage non couvertes par les conditions normales citées en 4.5.

La spécification du transformateur pour des opérations dans de telles conditions anormales doit faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur.

Les exigences supplémentaires dans les limites définies, pour la définition de la puissance et les essais des transformateurs dans des conditions de service autres que celles citées en 4.2, telles que température élevée de l'air de refroidissement ou altitude supérieure à 1 000 m, sont données en 11.2 et 11.3.

4.5 Conditions de transport et de stockage

Les transformateurs doivent être adaptés pour un transport et un stockage à des températures ambiantes pouvant atteindre -25°C .

Le fabricant doit être informé à l'avance des niveaux de chocs élevés, de vibration et d'inclinaison durant le transport sur site.

5 Prises

Les exigences indiquées dans l'Article 5 de la CEI 60076-1 s'appliquent. L'étendue préférentielle des plages de réglage est de:

- $\pm 5\%$ par palier de $2,5\%$ (5 positions de prises);
- ou
- $\pm 5\%$ (3 positions de prises).

La sélection de prise doit être faite hors tension au moyen de connexions boulonnées ou d'un changeur de prise.

6 Connexions

Sauf spécifications contraires du client, les connexion au transformateur doivent être Dyn avec un indice horaire soit de 5 ou de 11 en accord avec l'Article 6 de la CEI 60076-1. La connexion du neutre doit être capable de faire transiter le courant total assigné des phases.

7 Tenue au court-circuit

Les transformateurs doivent satisfaire aux exigences de la CEI 60076-5. Si l'acheteur souhaite un essai pour prouver la tenue au court-circuit, ceci doit être spécifié dans le contrat.

- excessive and abrasive dust;
- high harmonic content of the load current;
- distortion of the supply voltage waveform;
- fast transient overvoltages over the limits prescribed in 12.1 and Clause 21;
- associated power factor correction and method of capacitor switching to limit inrush current;
- superimposed DC current;
- seismic qualification which would otherwise require special considerations in the design;
- extreme mechanical shock and vibrations;
- transport and storage conditions not covered by the normal condition described in 4.5.

Transformer specification for operation under such abnormal conditions shall be subject to agreement between the supplier and purchaser.

Supplementary requirements, within defined limits, for the rating and testing of transformers designed for other than normal service conditions listed in 4.2, such as high temperature of cooling air or altitude above 1 000 m are given in 11.2 and 11.3.

4.5 Transport and storage conditions

All transformers shall be suitable for transportation and storage at ambient temperatures down to -25°C .

The supplier shall be informed of anticipated high levels of shock, vibration and inclination during transportation to site.

5 Tappings

The requirements in IEC 60076-1 Clause 5 applies. The preferred tapping range is either:

$\pm 5\%$ in steps of $2,5\%$ (5 tap positions);

or

$\pm 5\%$ (3 tap positions).

Tapping selection shall be made off-circuit by the use of bolted links or off-circuit tap-changers.

6 Connections

Unless otherwise specified by the purchaser, transformer connections shall be Dyn with clock hour figure 5 or 11 in accordance with Clause 6 of IEC 60076-1. The neutral connection shall be capable of carrying full phase rated current.

7 Ability to withstand short circuit

Transformers shall fulfil the requirements in IEC 60076-5. If the purchaser requires a test to demonstrate this fulfilment, this shall be stated in the contract.

8 Caractéristiques

8.1 Généralités

Le fabricant doit indiquer les caractéristiques de chaque transformateur, qui doivent être marquées sur la plaque signalétique (voir Article 9). Ces caractéristiques doivent être définies de façon à ce que le transformateur puisse délivrer son courant assigné en service continu, sans que soient dépassées les limites d'échauffement spécifiées dans l'Article 11, en supposant que la tension primaire appliquée soit égale à la tension assignée et à la fréquence assignée.

8.2 Puissance assignée

Le transformateur doit avoir une puissance assignée pour chaque enroulement, qui doit être indiquée sur la plaque signalétique. Le transformateur doit être entièrement vide lorsqu'il est fourni dans une enceinte. La puissance assignée fait référence à une charge en continu. C'est la valeur de référence pour les garanties et les essais concernant les pertes, les échauffements et l'impédance de court-circuit.

NOTE Un transformateur à deux enroulements a seulement une valeur de puissance assignée, identique pour les deux enroulements. Quand le transformateur a une tension assignée appliquée à l'enroulement primaire, et que le courant nominal parcourt cet enroulement, le transformateur reçoit la puissance assignée adéquate pour les deux enroulements.

La puissance assignée correspond au régime continu; cependant, les transformateurs de type secs conformes à cette norme peuvent être surchargés et les principes de surcharge sont donnés dans la CEI 60905.

8.3 Valeurs préférentielles de puissance assignée

Les valeurs préférentielles de puissance assignée doivent être conformes à 4.3 de la CEI 60076-1 à partir de 50 kVA.

8.4 Fonctionnement avec tension supérieure à la tension assignée

Sans dépasser la valeur de tension maximale U_m imposée, un transformateur doit être capable de fonctionner en continu sans dommage dans des conditions de sur-induction quand le rapport de tension sur la fréquence ne dépasse pas de plus de 5 % le rapport de la tension assignée sur la fréquence assignée.

NOTE Cette demande n'est pas censée être utilisée systématiquement en fonctionnement normal. L'augmentation conséquente des pertes à vide dans ces conditions pourrait avoir des effets néfastes et il est recommandé de limiter dans la durée une telle opération. Il est recommandé de limiter cette opération pour des cas rares de service à durée limitée dans le temps, par exemple, en cas de service d'urgence ou de pointe de charge.

8.5 Fonctionnement avec refroidissement par ventilateur

Quand un refroidissement complémentaire par ventilateur est fourni, la puissance nominale avec et sans ventilateur doit faire l'objet d'un accord entre le client et le fabricant.

La plaque signalétique doit indiquer à la fois la puissance du transformateur sans ventilateur et la puissance maximale avec ventilateur.

8.6 Fonctionnement avec enveloppe

Pour les conditions de fonctionnement avec une enveloppe qui n'est pas fournie ou fournie ultérieurement par le fabricant du transformateur, se reporter à l'Annexe D de la CEI 61330 et à la CEI 60905.

8 Rating

8.1 General

The manufacturer shall assign ratings to the transformer, which shall be marked on the rating plate, see Clause 9. These ratings shall be such that the transformer can deliver its rated current under steady loading conditions without exceeding the limits of temperature rise specified in Clause 11, assuming that the applied primary voltage is equal to the rated voltage and that the supply is at rated frequency.

8.2 Rated power

The transformer shall have an assigned rated power for each winding which shall be marked on the rating plate. The transformer shall be fully rated when supplied in an enclosure. The rated power refers to continuous loading. This is a reference value for guarantees and tests concerning load losses, temperature rises and short-circuit impedance.

NOTE A two-winding transformer has only one value of rated power, identical for both windings. When the transformer has rated voltage applied to the primary winding, and rated current flows through the terminals of that winding, the transformer receives the relevant rated power for both windings.

The rated power corresponds to continuous duty; nevertheless, dry-type transformers complying with this standard can be overloaded and guidance on overloads is given in IEC 60905.

8.3 Preferred values of rated power

The preferred values shall be in accordance with 4.3 of IEC 60076-1 starting from 50 kVA.

8.4 Operation at higher than rated voltage

Within the prescribed value of U_m , a transformer shall be capable of service without damage under conditions of overfluxing where the ratio of voltage over frequency exceeds the corresponding ratio at rated voltage and rated frequency by no more than 5 %.

NOTE This requirement is not meant to be systematically utilised in normal service. The consequential increase in iron losses under these conditions will have adverse effects and such operation should be of limited duration. This condition should be reserved for relatively rare cases of service under limited periods of time, for example emergency service or extreme peak loading.

8.5 Operation with fan cooling

When additional cooling by means of fans is provided, the nominal power rating with and without fans shall be subject to agreement between purchaser and supplier.

The rating plate shall indicate both the power rating without fans and the maximum power rating with fan cooling.

8.6 Operation in an enclosure

For operation in an enclosure that is not provided or later provided by the manufacturer of the transformer, see Annex D of IEC 61330 and IEC 60905.

9 Plaque signalétique

9.1 Plaque signalétique fixée sur le transformateur

Chaque transformateur doit être muni d'une plaque signalétique résistant aux intempéries, fixée à un emplacement visible et donnant les informations énumérées ci-dessous. Les inscriptions doivent être indélébiles (par exemple gravées chimiquement, mécaniquement, poinçonnées ou réalisées par processus photo-chimique).

- a) transformateurs de type sec;
- b) numéro et année de cette partie de la CEI 60076;
- c) le nom du fabricant;
- d) numéro de série du fabricant;
- e) l'année de fabrication;
- f) température du système d'isolation pour chaque enroulement. La première lettre doit faire référence à l'enroulement haute tension, la seconde lettre doit faire référence à l'enroulement basse tension. Lorsqu'il y a plus de deux enroulements, les lettres doivent être placées dans l'ordre des enroulements de la plus haute à la plus basse tension;
- g) nombre de phases;
- h) puissance assignée pour chaque mode de refroidissement;
- i) fréquence assignée;
- j) tensions assignées et, le cas échéant, tensions des prises de réglage;
- k) courant assigné pour chaque mode de refroidissement;
- l) symbole de connexion;
- m) tension de court circuit au courant assigné, et à température référencée appropriée;
- n) type de refroidissement;
- o) masse totale;
- p) niveaux d'isolement;
- q) degré de protection;
- r) classe environnementale;
- s) classe climatique;
- t) classe de comportement au feu.

Les tensions assignées de tenue pour tous les enroulements doivent apparaître sur la plaque signalétique. Les principes de la notation normalisée sont illustrés dans l'Article 5 de la CEI 60076-3.

9.2 Plaque signalétique fixée sur l'enveloppe du transformateur

Chaque enveloppe de transformateur doit être munie d'une plaque signalétique résistant aux intempéries, fixée à un emplacement visible et donnant les informations énumérées en 9.1. Les inscriptions sur la plaque doivent être indélébiles (par exemple gravées chimiquement, mécaniquement, poinçonnées ou réalisées par processus photo-chimique).

10 Désignation suivant le mode de refroidissement

10.1 Symboles de désignation

Les transformateurs doivent être désignés d'après le mode de refroidissement utilisé. Les symboles littéraux correspondant à chaque mode de refroidissement sont mentionnés au Tableau 1.

9 Rating plate

9.1 Rating plate fitted to the transformer

Each transformer shall be provided with a rating plate of weatherproof material, fitted in a visible position, showing the items indicated below. The entries on the plate shall be indelibly marked (that is, by etching, engraving, stamping or by a photo-chemical process).

- a) dry-type transformer;
- b) number and year of this part of IEC 60076;
- c) manufacturer's name;
- d) manufacturer's serial number;
- e) year of manufacture;
- f) insulation system temperature for each winding. The first letter shall refer to the high voltage winding, the second letter shall refer to the low voltage winding. When more than two windings are present, the letters shall be placed in the order of the windings from the high voltage to the low voltage;
- g) number of phases;
- h) rated power for each kind of cooling;
- i) rated frequency;
- j) rated voltages, including tapping voltages, if any;
- k) rated currents for each kind of cooling;
- l) connection symbol;
- m) short-circuit impedance at rated current and at the appropriate referenced temperature;
- n) type of cooling;
- o) total mass;
- p) insulation levels;
- q) degree of protection;
- r) environmental class;
- s) climatic class;
- t) fire behaviour class.

The rated withstand voltages for all windings shall appear on the rating plate. The principles of the standard notation are illustrated in Clause 5 of IEC 60076-3.

9.2 Rating plate fitted to the transformer enclosure

Each transformer enclosure shall be provided with a rating plate of weatherproof material, fitted in a visible position, showing the items indicated in 9.1. The entries on the plate shall be indelibly marked (that is, by etching, engraving, stamping or by a photo-chemical process).

10 Identification according to cooling method

10.1 Identification symbols

Transformers shall be identified according to the cooling method employed. Letter symbols for use in connection with each cooling method shall be as given in Table 1.

Tableau 1 – Symboles littéraux

		Symbole
Type de fluide de refroidissement	Air	A
Type de circulation	Naturelle	N
	Forcée	F

10.2 Disposition des symboles

Les transformateurs doivent être identifiés par deux symboles pour chaque mode de refroidissement pour lequel un régime est assigné par le fabricant, de la façon suivante:

- Un transformateur conçu pour une ventilation naturelle est désigné par AN.
- Un transformateur conçu pour une ventilation naturelle par air jusqu'à une puissance donnée et avec un refroidissement forcé pour une puissance plus importante est désigné par AN/AF.

11 Limites d'échauffement

11.1 Limites normales d'échauffement

L'échauffement de chaque enroulement du transformateur destiné à fonctionner dans des conditions normales, ne doit pas dépasser la limite spécifiée dans le Tableau 2 en accord avec l'Article 23.

La température maximale relevée sur une quelconque partie de l'enroulement est appelée température de point chaud. La température de point chaud ne doit pas dépasser la valeur assignée de la température d'enroulement de point chaud spécifiée dans le Tableau 1 de la CEI 60905. Cette température peut être mesurée, ou pour des raisons pratiques une valeur approximative peut être calculée, en utilisant l'équation 1 de 4.2.4 de la CEI 60905 avec des valeurs pour Z et γ données en 7.2 de la CEI 60905.

Les composants utilisés comme matériaux isolants peuvent être utilisés séparément ou en assemblage complexe, pourvu que leur température ne dépasse pas les valeurs données pour la température du système d'isolation en conformité avec les exigences prescrites dans la colonnes de gauche du Tableau 2.

La température du circuit magnétique, des parties métalliques et des matériaux adjacents ne doit pas atteindre une valeur qui pourrait endommager une partie quelconque du transformateur.

Table 1 – Letter symbols

		Symbol
Type of cooling medium	Air	A
Type of circulation	Natural	N
	Forced	F

10.2 Arrangement of symbols

Transformers shall be identified by two symbols for each cooling method for which a rating is assigned by the manufacturer, typically as follows:

- A transformer designed for natural air ventilation is designated AN.
- A transformer designed for natural air ventilation up to specified rating and with forced cooling to a higher rating is designated AN/AF.

11 Temperature-rise limits

11.1 Normal temperature-rise limits

The temperature rise of each winding of the transformer, designed for operation at normal service conditions, shall not exceed the corresponding limit specified in Table 2 when tested in accordance with Clause 23.

The maximum temperature occurring in any part of the winding insulation system is called the hot-spot temperature. The hot spot temperature shall not exceed the rated value of the hot-spot winding temperature specified in Table 1 of IEC 60905. This temperature could be measured, however an approximate value for practical purposes can be calculated by using equation 1 in 4.2.4 of IEC 60905 with the values for Z and q given in 7.2 of IEC 60905.

Components used as insulating material may be used separately or in combination providing that their temperature does not exceed the values given for the appropriate insulation system temperature in accordance with the requirements as prescribed in the left hand column of Table 2.

The temperature of the core, metallic parts and adjacent materials shall not reach a value that will cause damage to any part of the transformer.

Tableau 2 – Limites d'échauffement d'enroulement

Température du système d'isolation (voir Note 1) °C	Moyenne des limites d'échauffement d'enroulement à courant assigné (voir Note 2) K
105 (A)	60
120 (E)	75
130 (B)	80
155 (F)	100
180 (H)	125
200	135
220	150
NOTE 1 Les lettres se réfèrent aux classifications de température données dans la CEI 60085.	
NOTE 2 Echauffement mesuré en accord avec l'Article 23.	

11.2 Réduction des échauffements dans le cas de transformateurs prévus pour une température élevée de l'air de refroidissement ou pour des conditions spéciales de refroidissement par air

Lorsque le transformateur est conçu pour un fonctionnement avec une température de l'air de refroidissement dépassant l'une des valeurs maximales indiquées en 4.2.3, les limites d'échauffements doivent être réduites dans la même proportion. Les valeurs doivent être arrondies au numéro K le plus proche.

Il convient que toutes conditions du lieu d'installation susceptibles soit d'imposer des restrictions sur l'air de refroidissement, soit de produire des températures élevées de l'air ambiant, soient spécifiées par l'acheteur.

11.3 Correction d'échauffement prévue pour des altitudes élevées

Sauf accord contraire entre le constructeur et l'acheteur, pour les transformateurs prévus pour fonctionner à des altitudes supérieures à 1 000 m, mais testés à des altitudes normales, les limites d'échauffement données dans le Tableau 2 doivent être réduites des quantités suivantes pour chaque tranche de 500 m au-dessus de 1 000 m:

- transformateurs à refroidissement naturel par air: 2,5 %;
- transformateurs à refroidissement forcé par air: 5 %.

Un correctif inverse correspondant pourra être appliqué dans les cas où l'altitude de la salle d'essai est supérieure à 1 000 m et où l'altitude de l'installation est inférieure à 1 000 m.

Toute correction de l'altitude doit être arrondie au nombre de K entier le plus proche.

12 Niveaux d'isolement

12.1 Généralités

Quand les transformateurs sont conçus pour des réseaux de distribution de puissance, publics ou industriels, les niveaux d'isolement doivent être ceux qui sont donnés dans le Tableau 3, liste 1 ou liste 2.

Table 2 – Winding temperature-rise limits

Insulation system temperature (see Note 1) °C	Average winding-temperature rise limits at rated current (see Note 2) K
105 (A)	60
120 (E)	75
130 (B)	80
155 (F)	100
180 (H)	125
200	135
220	150
NOTE 1 Letters refer to the temperature classifications given in IEC 60085.	
NOTE 2 Temperature rise measured in accordance with Clause 23.	

11.2 Reduced temperature rises for transformers designed for high cooling air temperatures or special air cooling conditions

When the transformer is designed for service where the temperature of the cooling air exceeds one of the maximum values specified in 4.2.3, the temperature rise limits shall be reduced by the same amount as the excess. The values shall be rounded to the nearest whole number of K.

Any site conditions that may either impose restrictions on the cooling air or produce high ambient air temperatures should be stated by the purchaser.

11.3 High altitude temperature rise correction

Unless otherwise agreed upon between the supplier and the purchaser, for transformers designed for operation at an altitude greater than 1 000 m but tested at normal altitudes, the limits of temperature rise given in Table 2 shall be reduced by the following amounts for each 500 m by which the intended working altitude exceeds 1 000 m:

natural-air-cooled transformers: 2,5 %;

forced-air-cooled transformers: 5 %.

A corresponding reverse correction may be applied in cases where the altitude of the test room is above 1 000 m and the altitude of the installation site is below 1 000 m.

Any altitude correction shall be rounded to the nearest whole number of K.

12 Insulation levels

12.1 General

When transformers are intended for general power distribution in public or industrial systems, the insulation levels shall be those given in Table 3, list 1 or list 2.

Tableau 3 – Niveaux d'isolement basés sur une pratique européenne

Tension la plus élevée pour le matériel U_m (valeur efficace) kV	Tension assignée de tenue au CA de source séparée (valeur efficace) kV	Tension de tenue assignée au choc de foudre (valeur crête) kV	
		Liste 1	Liste 2
≤ 1,1	3	—	—
3,6	10	20	40
7,2	20	40	60
12,0	28	60	75
17,5	38	75	95
24,0	50	95	125
36,0	70	145	170

Il est recommandé de considérer le degré d'exposition à la foudre et aux surtensions de manœuvre, le type de connections à la terre et, quand cela est applicable, le type d'appareil de protection contre les surtensions pour faire le choix entre la liste 1 et la liste 2. Se reporter à la CEI 60071.

Tableau 4 – Niveaux d'isolement basés sur une pratique américaine

Niveaux d'isolement diélectrique pour les transformateurs de type sec ayant une tension de tenue au choc de foudre $\leq$ à 200 kV												
Tension la plus élevée kV	Niveau nominal de tension du système kV	Niveau d'isolement basse fréquence kV valeur efficace	Tension de tenue assignée au choc de foudre utilisée en commun (valeur de crête 1,2 μ s)									
			10	20	30	45	60	95	110	125	150	200
0,25	0,25	2,5	Aucune									
0,6	0,6	3	S	1	1							
1,2	1,2	4	S	1	1							
2,75	2,5	10		S	1	1						
5,6	5	12			S	1	1					
9,52	8,7	19				S	1	1				
15,5	15	34					S	1	1			
18,5	18	40						S	1	1		
25,5	25	50						2	S	1	1	
36,5	34,5	70								2	S	1
Onde de choc coupée: temps minimum d'amorçage (μ s)			1	1	1	1,3	2	2	1,8	2	2,3	2,7

S: Valeurs normales.

1: Niveaux optionnels plus élevés en cas d'exposition à des surtensions et quand des marges de protection supérieures sont demandées.

2: Niveaux plus faibles quand des parafoudres sont installés avec des niveaux d'amorçages plus faibles.

Table 3 – Insulation levels based on European practice

Highest voltage for equipment U_m (r.m.s.) kV	Rated short duration separate source AC withstand voltage (r.m.s.) kV	Rated lightning impulse withstand voltage (peak value) kV	
		List 1	List 2
≤ 1,1	3	—	—
3,6	10	20	40
7,2	20	40	60
12,0	28	60	75
17,5	38	75	95
24,0	50	95	125
36,0	70	145	170

The choice between list 1 and list 2 should be made considering the degree of exposure to lightning and switching overvoltages, the type of system neutral earthing and, where applicable, the type of overvoltage protective device, see IEC 60071-1.

Table 4 – Insulation levels based on North American practice

Dielectric insulation levels for dry type transformers used on system with BILs 200 kV and below												
Max LL system voltage kV	Nominal LL system voltage kV	Low frequency voltage insulation level kV r.m.s.	Basic Lightning Impulse Insulation Levels (BILs) in common use (peak value 1,2 μs)									
			10	20	30	45	60	95	110	125	150	200
0,25	0,25	2,5	None									
0,6	0,6	3	S	1	1							
1,2	1,2	4	S	1	1							
2,75	2,5	10		S	1	1						
5,6	5	12			S	1	1					
9,52	8,7	19				S	1	1				
15,5	15	34					S	1	1			
18,5	18	40						S	1	1		
25,5	25	50						2	S	1	1	
36,5	34,5	70								2	S	1
Impulse chopped wave: minimum time to flash over (μs)			1	1	1	1,3	2	2	1,8	2	2,3	2,7

S = Standard values.

1 = Optional higher levels where exposure to overvoltage occurs and higher protective margins are required.

2 = Lower levels where surge arrester protective devices can be applied with lower spark-over levels.

12.2 Transformateurs pour utilisation à des altitudes élevées

Quand les transformateurs sont conçus pour fonctionner à des altitudes comprises entre 1 000 m et 3 000 m au-dessus du niveau de la mer, mais testés à une altitude normale, la tension de tenue assignée de courte durée à fréquence industrielle doit être augmentée de 1 % pour chaque tranche de 100 m au-dessus de 1 000 m. Au-dessus de 3 000 m, le niveau d'isolation doit faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur.

13 Classes climatiques, d'environnement et de comportement au feu

13.1 Classes climatiques

Deux classes climatiques sont définies:

Classe C1: Le transformateur est apte au fonctionnement à température ambiante égale ou supérieure à -5°C mais peut-être exposé durant le transport ou le stockage à des températures pouvant descendre jusqu'à -25°C .

Classe C2: Le transformateur est apte au fonctionnement, au transport et au stockage à des températures ambiantes pouvant descendre jusqu'à -25°C .

Des essais spéciaux comme indiqué à l'Article 27 doivent confirmer la conformité des classes C1 et C2 de transformateurs.

NOTE Il est recommandé d'équiper d'une enveloppe ou toute autre protection appropriée les transformateurs destinés à fonctionner à l'extérieur.

13.2 Classes d'environnement

Les conditions d'environnement pour les transformateurs de type sec sont identifiées en fonction de l'humidité, de la condensation, de la pollution et de la température ambiante.

NOTE Elles sont importantes non seulement pendant le fonctionnement mais aussi pendant le stockage avant l'installation.

En ce qui concerne l'humidité, la condensation et la pollution, trois différentes classes d'environnement sont définies:

Classe E0: Il ne se produit pas de condensation sur les transformateurs et la pollution est négligeable. Ceci est généralement obtenu avec une installation intérieure propre et sèche.

Classe E1: De la condensation peut se produire de temps en temps sur le transformateur (par exemple quand le transformateur est hors service). Une pollution limitée est possible.

Classe E2: Condensation fréquente ou pollution élevée ou combinaison des deux.

Des essais spéciaux selon la procédure de l'Article 26 doivent confirmer la conformité des classes E1 ou E2 de transformateurs.

13.3 Classe de comportement au feu

Deux classes de comportement au feu sont définies:

Classe F0: Il n'y a pas de risque spécial de feu à envisager. Excepté pour les caractéristiques inhérentes à la conception du transformateur, il n'y a pas de mesures spéciales à prendre pour limiter l'inflammabilité. Cependant, les émissions de substances toxiques et de fumée opaque doivent être minimisées.

Classe F1: Transformateurs soumis au risque de feu. Une inflammabilité restreinte est exigée. Les émissions de substances toxiques et de fumée opaque doivent être minimisées.

12.2 Transformers for use at high altitudes

When the transformers are specified for operation at altitudes between 1 000 m and 3 000 m above sea-level, but tested at normal altitude, the rated short duration separate source AC withstand voltage shall be increased by 1 % for each 100 m above 1 000 m. Above 3 000 m, the insulation level shall be defined by agreement between supplier and purchaser.

13 Climatic, environmental and fire behaviour classes

13.1 Climatic classes

Two climatic classes are defined:

Class C1: The transformer is suitable for operation at ambient temperature not below -5°C but may be exposed during transport and storage to ambient temperatures down to -25°C .

Class C2: The transformer is suitable for operation, transport and storage at ambient temperatures down to -25°C .

Special tests according to Clause 27 shall confirm the conformity of C1 and C2 class transformers.

NOTE Transformers for outdoor operation should normally be provided with an enclosure or be given other suitable protection.

13.2 Environmental classes

Environmental conditions for dry-type transformers are identified in terms of humidity, condensation, pollution and ambient temperature.

NOTE These are important not only during service but also during storage before installation.

With regard to humidity, condensation and pollution, three different environmental classes are defined:

Class E0: No condensation occurs on the transformers and pollution is negligible. This is commonly achieved in a clean, dry indoor installation.

Class E1: Occasional condensation can occur on the transformer (for example, when the transformer is de-energised). Limited pollution is possible.

Class E2: Frequent condensation or heavy pollution or combination of both.

Special tests according to the procedure of Clause 26 shall confirm the conformity of E1 or E2 class transformers.

13.3 Fire behaviour classes

Two fire behaviour classes are defined:

Class F0: There is no special fire risk to consider. Except for the characteristics inherent in the design of the transformer, no special measures are taken to limit flammability. Nevertheless, the emission of toxic substances and opaque smoke shall be minimized.

Class F1: Transformers subject to a fire hazard. Restricted flammability is required. The emission of toxic substances and opaque smokes shall be minimised.

Des essais spéciaux selon la procédure de l'Article 28 doivent confirmer la conformité des transformateurs de la classes F1.

NOTE Les mesures faites en conformité avec l'Article 28 conduisent à un écart type ≤ 10 K.

13.4 Critères d'essai pour les classes climatiques, d'environnement et de comportement au feu

Lorsqu'un transformateur est déclaré comme approprié pour une combinaison de classes d'environnement, climatique et de comportement au feu, ces essais qui prouvent la conformité à ces classes, sont à effectuer sur le même transformateur dans l'ordre donné au Tableau 5.

Les essais précisés aux Articles 26, 27 et 28 doivent être effectués sur un transformateur représentatif d'un certain type de conception.

Tableau 5 – Séquence des essais

Classes			Climatique		d'environnement			de comporte- ment au feu	
Essais		Article	C1	C2	E0	E1	E2	F0	F1
1	Choc thermique à -5 °C	27.3	Oui	Non	-	-	-	-	-
2	Choc thermique à -25 °C	27.4	Non	Oui	-	-	-	-	-
3	Essai de condensation	26.3.1	-	-	Non	Oui	Non	-	-
4	Essai de condensation et de pénétration d'humidité	26.3.2	-	-	Non	Non	Oui	-	-
5	Essai de comportement au feu	28.3	-	-	-	-	-	Non	Oui

14 Prescriptions générales pour les essais

Les nouveaux transformateurs doivent être soumis à des tests comme indiqué aux Articles 15 à 23. Les transformateurs qui ont déjà été en service pourront être testés en accord avec cette spécification mais il est recommandé de réduire à 80 % les niveaux de test diélectrique, et les niveaux de garantie des transformateurs neufs ne s'appliquent pas.

Les essais doivent être effectués par le constructeur ou dans un laboratoire agréé, à moins que le fournisseur et l'acheteur n'en aient convenu autrement à l'établissement de l'offre.

Les essais diélectriques selon les Articles 19, 20 et 21 doivent être effectués, le transformateur étant approximativement à température ambiante.

Les tests doivent être réalisés sur un transformateur complet avec tous les accessoires appropriés fournis.

Les enroulements à prises doivent être reliés à leur prise principale, à moins que le constructeur et l'acheteur n'en aient convenu autrement.

La base d'essai de toutes les caractéristiques autres que l'isolation est la condition assignée, à moins qu'une clause particulière d'essai n'en décide autrement.

15 Mesure de la résistance des enroulements (essai individuel)

L'essai décrit en 10.2 de la CEI 60076-1 s'applique.

Special tests according to the procedure of Clause 28 shall confirm the conformity of class F1 transformers.

NOTE Measurements made in conformity with Clause 28 tend to result in a standard deviation ≤ 10 K.

13.4 Test criteria for climatic, environmental and fire behaviour classes

When a transformer is declared as suitable for a combination of climatic, environmental and fire behaviour classes, those tests which prove compliance with said classes, are to be carried out on the same transformer in the sequence given in Table 5.

The tests specified in Clauses 26, 27 and 28 shall be carried out as specified on one transformer being representative of the design type.

Table 5 – Sequence of tests

Classes			Climatic		Environmental			Fire behaviour	
Tests		Clause	C1	C2	E0	E1	E2	F0	F1
1	Thermal shock at -5°C	27.3	Yes	No	-	-	-	-	-
2	Thermal shock at -25°C	27.4	No	Yes	-	-	-	-	-
3	Condensation test	26.3.1	-	-	No	Yes	No	-	-
4	Condensation and humidity penetration test	26.3.2	-	-	No	No	Yes	-	-
5	Fire behaviour test	28.3	-	-	-	-	-	No	Yes

14 General requirements for tests

New transformers shall be subjected to tests as specified in Clauses 15 to 23. Transformers which have been in service may be tested in accordance with this specification but dielectric test levels should be reduced to 80 %, however, the guarantee levels of the transformer when new do not apply.

Tests shall be made by the manufacturer or at an approved laboratory, unless otherwise agreed between the supplier and the purchaser at the tender stage.

Dielectric tests in accordance with Clauses 19, 20 and 21 shall be made with the transformer at approximately the temperature of the test house.

Tests shall be performed on a completely assembled transformer including relevant accessories supplied.

Tapped windings shall be connected on their principal tapping unless the supplier and the purchaser agree otherwise.

The test basis for all characteristics other than insulation is the rated condition, unless the test Clause states otherwise.

15 Measurement of winding resistance (routine test)

The test described in 10.2 of IEC 60076-1 applies.

16 Mesure du rapport de tension et contrôle du déphasage (essai individuel)

L'essai décrit en 10.3 de la CEI 60076-1 s'applique.

17 Mesure de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge (essai individuel)

L'essai décrit en 10.4 de la CEI 60076-1 s'applique.

La température de référence de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge doit être l'échauffement moyen autorisé des enroulements, tel qu'indiqué en colonne 2 du Tableau 2, majoré de 20 °C.

Lorsqu'un transformateur possède des enroulements comportant des systèmes d'isolation de températures différents, la température de référence utilisée doit être celle qui est relative à l'enroulement ayant la température du système d'isolation la plus élevée.

18 Mesure des pertes et du courant à vide (essai individuel)

L'essai décrit en 10.5 de la CEI 60076-1 s'applique.

19 Essai de tenue par tension appliquée à fréquence industrielle (essai individuel)

L'essai décrit à l'Article 11 de la CEI 60076-3 s'applique.

La tension d'essai doit être conforme au Tableau 3 ou au Tableau 4 pour le niveau d'isolement spécifié du transformateur.

La pleine tension d'essai doit être appliquée pendant 60 s entre l'enroulement sous essai et tous les autres enroulements, le circuit magnétique, le châssis et l'enveloppe du transformateur, reliés ensemble à la terre.

20 Essai de tenue par tension induite à fréquence industrielle (essai individuel)

L'essai décrit en 12.2.1 de la CEI 60076-3 s'applique.

La tension d'essai doit être égale à deux fois la tension assignée.

La durée de l'essai à la pleine tension doit être de 60 s pour toute fréquence d'essai inférieure ou égale à deux fois la fréquence assignée. Lorsque la fréquence d'essai dépasse le double de la fréquence assignée, la durée de l'essai doit être:

$$120 \times \frac{\text{fréquence assignée}}{\text{fréquence d'essai}} \text{ s, mais pas moins de 15 s.}$$

16 Measurement of voltage ratio and check of phase displacement (routine test)

The test described in 10.3 of IEC 60076-1 applies.

17 Measurement of short-circuit impedance and load loss (routine test)

The test described in 10.4 of IEC 60076-1 applies.

The reference temperature of the short-circuit impedance and load loss shall be the permitted average winding temperature rise as given in column 2 of Table 2 plus 20 °C.

When a transformer has windings of different insulation system temperatures, the reference temperature relating to the winding having the higher insulation system temperature shall be used.

18 Measurement of no-load loss and current (routine test)

The test described in 10.5 of IEC 60076-1 applies.

19 Separate-source AC withstand voltage test (routine test)

The test described in Clause 11 of IEC 60076-3 applies.

The test voltage shall be in accordance with Table 3 or Table 4 for the specified insulation level of the transformer,

The full test voltage shall be applied for 60 s between the winding under test and all the remaining windings, core, frame and transformer enclosure, connected to earth.

20 Induced AC withstand voltage test (routine test)

The test described in 12.2.1 of IEC 60076-3 applies.

The test voltage shall be twice the rated voltage.

The duration of the test at full voltage shall be 60 s for any test frequency up to and including twice the rated frequency. When the test frequency exceeds twice the rated frequency, the duration of the test shall be:

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

21 Essai au choc de foudre (essai de type)

L'essai décrit à l'Article 13 de la CEI 60076-3 s'applique.

La tension d'essai doit être conforme au Tableau 3 ou au Tableau 4 pour le niveau d'isolement spécifié du transformateur.

L'onde de l'essai au choc de foudre doit être $1,2 \mu\text{s} \pm 30 \%$ / $50 \mu\text{s} \pm 20 \%$

La tension d'essai doit être de polarité négative. La séquence d'essai par bornes de ligne, doit consister en un choc d'étalonnage à une tension comprise entre 50 % et 75 % de la pleine tension, suivi de trois chocs à la pleine tension.

NOTE Dans les transformateurs de type sec, l'essai de tenue au choc de foudre peut donner naissance à des décharges partielles capacitives dans l'air, qui ne présentent pas de danger pour l'isolation. Ces décharges partielles provoquent des modifications dans la forme des ondes de courant, tandis que la forme des ondes de tension ne varie que légèrement ou pas du tout. Dans ce cas, il est recommandé de renouveler l'essai de tenue de tension de source séparée et l'essai de tenue de surtension induite. En prenant en compte l'indication ci-dessus, de légères déviations dans la forme des ondes de courant ne sont pas un motif de rejet.

22 Mesure des décharges partielles (essai de routine et spécial)

22.1 Généralités

Les mesures des décharges partielles doivent être réalisées sur tous les transformateurs de type sec. Les mesures doivent être faites en conformité avec la CEI 60270 et avec l'Annexe A de la CEI 60076-3.

La mesure des décharges partielles doit être réalisée sur les enroulements ayant $U_m \geq 3,6 \text{ kV}$.

22.2 Circuit de mesure de base (seulement typique)

Un circuit de mesure de base pour les décharges partielles est montré en Figures 1 et 2.

Sur les Figures, un condensateur haute tension exempt de décharges partielles, C , de gamme de tension adaptée (ayant une capacité très supérieure à la capacité du générateur d'étalonnage, C_0) en série avec une impédance de détection, Z_m , est connecté à chacune des bornes haute tension.

22.3 Etalonnage du circuit de mesure

L'atténuation des impulsions se produit à la fois dans les enroulements et dans le circuit de mesure. L'étalonnage est effectué conformément aux indications de l'Annexe A de la CEI 60076-3, en injectant des impulsions simulées au moyen d'un générateur de décharges calibrées aux bornes de l'enroulement haute tension du transformateur. C'est pratique si le générateur d'étalonnage possède une fréquence de répétition d'environ une impulsion par demi-période de la tension à fréquence industrielle.

21 Lightning impulse test (type test)

The test described in Clause 13 of IEC 60076-3 applies.

The test voltage shall be in accordance with Table 3 or Table 4 for the specified insulation level of the transformer.

The test impulse wave shape shall be $1,2 \mu\text{s} \pm 30 \%$ / $50 \mu\text{s} \pm 20 \%$

The test voltage shall be of negative polarity. The test sequence per line terminal shall be one calibration impulse at a voltage between 50 % and 75 % of the full voltage followed by three impulses at full voltage.

NOTE In dry-type transformers, the lightning impulse test can give rise to capacitive partial discharges in the air which do not endanger the insulation. These partial discharges lead to changes in the current waveform, whilst the voltage waveform varies only slightly or not at all. In this case, the separate source voltage withstand test and induced overvoltage withstand test should be repeated. Taking into account the above statement, slight deviations in current wave-form are not reasons for rejection.

22 Partial discharge measurement (routine and special test)

22.1 General

Partial discharge measurements shall be performed on all dry-type transformers. Measurement shall be made in accordance with IEC 60270 and with Annex A of IEC 60076-3.

The partial discharge measurement shall be performed on transformer windings having $U_m \geq 3,6 \text{ kV}$.

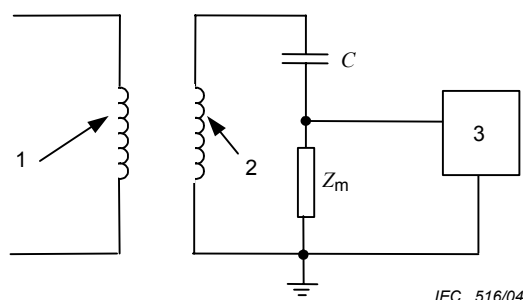
22.2 Basic measuring circuit (typical only)

A basic measuring circuit for the partial discharge test is shown in Figures 1 and 2.

In the Figures, a partial discharge-free high voltage capacitor, C of suitable voltage rating (having a capacitance value large in comparison with the calibration generator capacitance, C_0) in series with a detection impedance, Z_m , is connected to each of the high-voltage winding terminals.

22.3 Calibration of the measuring circuit

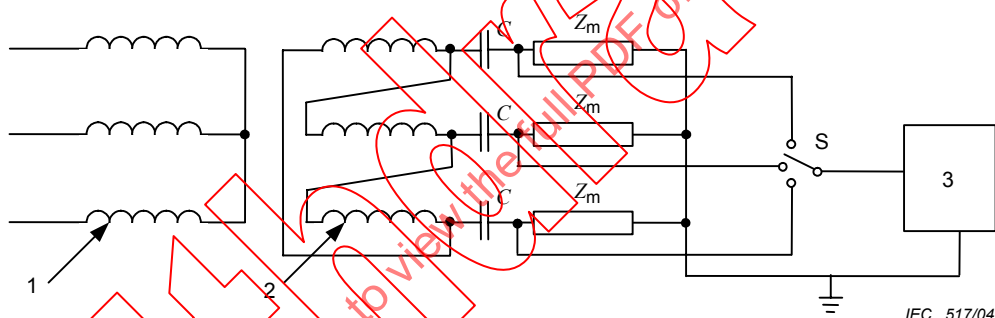
Attenuation of the discharge pulses occurs both within the windings and in the measuring circuit. Calibration is carried out as described in Annex A of IEC 60076-3, by injecting simulated discharge pulses from a standard discharge calibrator at the transformer high voltage winding terminals. It is convenient if the calibration generator has a repetition frequency of the order of one impulse per half cycle of the power frequency used for the test on the transformer.



Légende

- 1 Enroulement basse ension
- 2 Enroulement haute tension
- 3 Dispositif de mesure

Figure 1 – Circuit de mesure de base pour l'essai des décharges partielles pour un transformateur monophasé



Légende

- 1 Enroulement basse tension
- 2 Enroulement haute tension connecté en triangle ou en étoile
- 3 Dispositif de mesure
- S Interrupteur

Figure 2 – Circuit de mesure de base pour l'essai des décharges partielles pour un transformateur triphasé

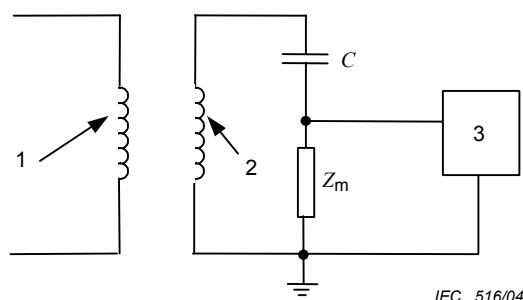
22.4 Application de la tension

La mesure des décharges partielles doit être effectuée après achèvement de tous les essais diélectriques. L'enroulement basse tension doit être alimenté à partir d'une source triphasée ou monophasée selon que le transformateur est lui-même triphasé ou monophasé. La forme de la tension doit être aussi proche que possible de la forme sinusoïdale et à une fréquence convenablement augmentée au-dessus de la fréquence assignée afin d'éviter un courant magnétisant excessif au cours de l'essai. La procédure doit être comme indiqué en 22.4.1 ou 22.4.2.

22.4.1 Transformateurs triphasés

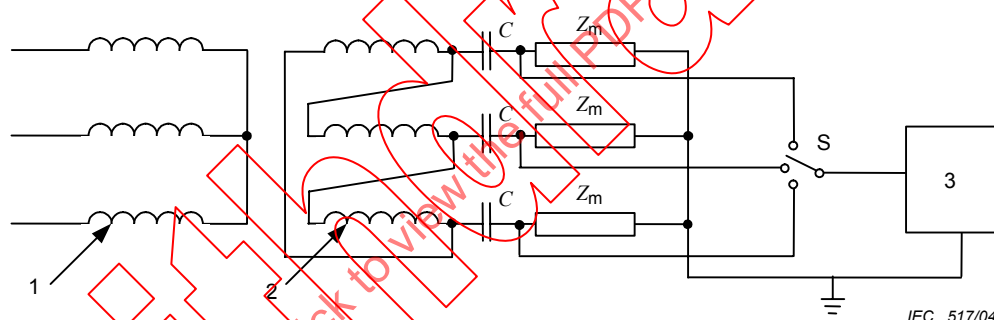
22.4.1.1 Essai individuel

L'essai suivant doit être réalisé sur tous les transformateurs de type sec.

**Key**

- 1 Low-voltage winding
- 2 High-voltage winding
- 3 Measuring instrument

Figure 1 – Basic measuring circuit for the partial discharge test for a single-phase transformer

**Key**

- 1 Low-voltage winding
- 2 High-voltage winding, delta or star connected
- 3 Measuring instrument
- S Switch

Figure 2 – Basic measuring circuit for the partial discharge test for a three-phase transformer

22.4 Voltage application

The partial discharge measurement shall be carried out after all dielectric tests are completed. The low-voltage winding shall be supplied from a three-phase or single-phase source, depending on whether the transformer itself is three-phase or single-phase. The voltage shall be as nearly as possible of sine-wave form and of a frequency suitably increased above the rated frequency to avoid excessive excitation current during the test. The procedure shall be as in 22.4.1 or 22.4.2.

22.4.1 Three-phase transformers

22.4.1.1 Routine test

The following test shall be performed on all dry type transformers.

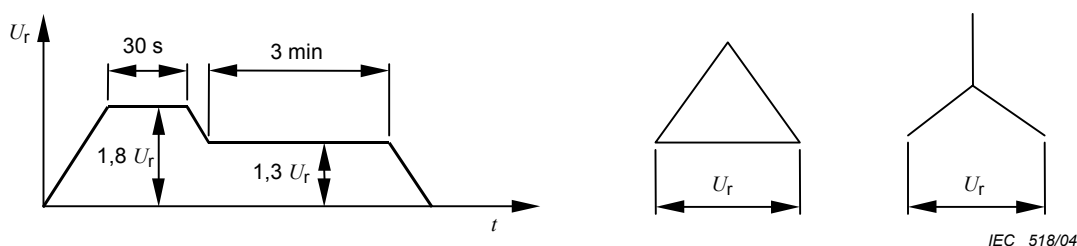


Figure 3 – Application de la tension pour l'essai de décharges partielles de routine

Une tension de précontrainte entre phases de $1,8 U_r$ doit être induite pendant 30 s ou U_r est la tension assignée, suivie sans interruption d'une tension entre phases de $1,3 U_r$ pendant 3 min, au cours desquelles les décharges partielles sont mesurées.

22.4.1.2 Essai de procédure complémentaire (essai spécial)

Cet essai complémentaire concerne les transformateurs destinés à être raccordés à des réseaux qui sont isolés ou mis à la terre par l'intermédiaire d'une impédance de forte valeur et qui peuvent continuer à fonctionner en défaut entre phase et terre. Cet essai est réalisé à la demande du client.

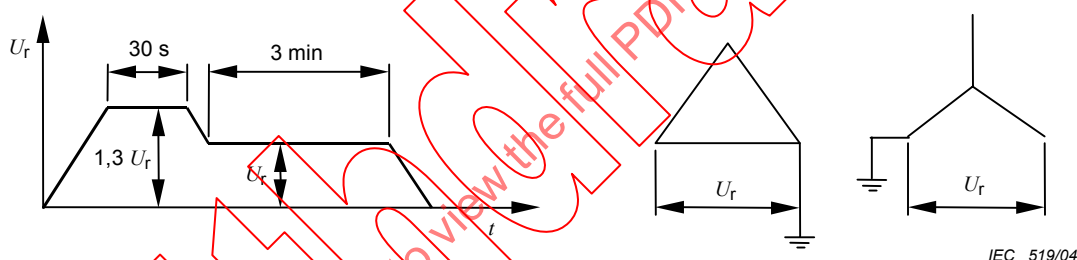


Figure 4 – Application de la tension pour l'essai de décharges partielles spécial

Une tension de précontrainte entre phases de $1,3 U_r$ doit être induite pendant 30 s avec une borne de ligne mise à la terre, suivie sans interruption d'une tension entre phases de U_r pendant 3 min, au cours desquelles les décharges partielles sont mesurées (voir Figure 4). Cet essai doit être répété avec une autre borne de ligne mise à la terre.

22.4.2 Transformateurs monophasés

Pour les transformateurs monophasés, U_r doit être la tension entre bornes et ligne ou entre phase et neutre selon le cas. Les modalités d'application de la tension doivent être celles d'un transformateur triphasé.

Les transformateurs triphasés composés de trois transformateurs monophasés doivent être testés comme des transformateurs triphasés.

22.5 Niveaux d'acceptation des décharges partielles

Le niveau maximal des décharges partielles doit être de 10 pC.

NOTE Il convient d'accorder une attention particulière aux transformateurs installés avec des accessoires, par exemple les parafoudres.

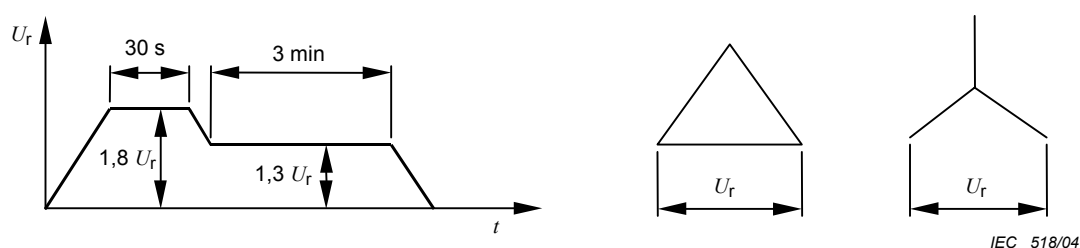


Figure 3 – Voltage application for routine partial discharge test

A phase-to-phase pre-stress voltage of $1,8 U_r$ shall be induced for 30 s where U_r is the rated voltage, followed without interruption by a phase-to-phase voltage of $1,3 U_r$ for 3 min, during which the partial discharge shall be measured.

22.4.1.2 Additional procedure test (special test)

This additional test is for transformers connected to systems which are isolated or earthed through a high value impedance and which can continue to be operated under a single phase line-to-earth fault condition. The test shall be performed when specified by the purchaser.



Figure 4 – Voltage application for special partial discharge test

A phase-to-phase voltage of $1,3 U_r$ shall be induced for 30 s, with one line terminal earthed, followed without interruption by a phase-to-phase voltage of U_r for 3 min during which the partial discharge shall be measured (see Figure 4). This test shall be repeated with another line terminal earthed.

22.4.2 Single-phase transformers

For single-phase transformers, U_r shall be the line-to-line or line-to-neutral voltage as appropriate. The voltage application shall be as for a three phase transformer.

Three-phase transformers comprising of three single-phase transformers shall be tested as for three-phase transformers.

22.5 Partial discharge acceptance levels

The maximum level of partial discharges shall be 10 pC.

NOTE Special considerations should be given to transformers fitted with accessories, for example, surge arrestors.

23 Essai d'échauffement (essai de type)

23.1 Généralités

Les exigences figurant dans la CEI 60076-2 en 5.1, 5.2.3, 5.4, 5.5 et 5.6 s'appliquent. Un système d'alimentation triphasée doit être utilisé pour l'essai d'échauffement sur des transformateurs triphasés.

23.2 Méthode de mise en charge

Au choix du constructeur, l'une des méthodes suivantes peut être appliquée.

23.2.1 Méthode de mise en charge simulée

Cette méthode est applicable pour un matériel de type sec avec ou sans enveloppe, ou avec enveloppe hermétique, à refroidissement naturel par air ou par ventilation forcée.

L'échauffement est obtenu en combinant l'essai en court-circuit (pertes en charge) et l'essai à circuit ouvert (pertes à vide).

La température du transformateur doit être stabilisée par rapport à la température ambiante du laboratoire d'essai. La résistance des enroulements haute tension et basse tension doit être mesurée, ces valeurs seront utilisées comme valeurs de référence pour le calcul de l'échauffement des deux enroulements. La température ambiante du laboratoire d'essai doit également être mesurée et enregistrée.

Pour les transformateurs triphasés, les mesures de résistance doivent être réalisées entre la phase centrale et une phase extérieure.

L'emplacement des points de mesure (c'est-à-dire les thermomètres de température ambiante et les sondes sur le transformateur, s'il y en a) doit être le même pour les mesures de référence et les mesures finales.

L'essai par mise en court-circuit d'un enroulement doit être réalisé par circulation du courant assigné dans un enroulement, l'autre enroulement étant court-circuité et doit continuer jusqu'à ce que l'équilibre thermique des enroulements et du circuit magnétique soit atteint, voir 23.4. L'échauffement de l'enroulement, $\Delta\theta_c$, doit être établi par la mesure de variation de résistance ou par la méthode dite de superposition.

L'essai à vide, à tension et fréquence assignées doit être poursuivi jusqu'à l'obtention de l'équilibre thermique des enroulements et du circuit magnétique, l'échauffement de chacun des enroulements, $\Delta\theta_e$, est alors mesuré.

La procédure d'essai pourra être soit:

- l'essai de court-circuit est poursuivi jusqu'à la stabilisation de la température du circuit magnétique et des enroulements. Consécutivement, un essai à vide doit être effectué jusqu'à stabilisation de la température du circuit magnétique et des enroulements.

ou

- l'essai à vide est poursuivi jusqu'à stabilisation de la température du circuit magnétique et des enroulements. Consécutivement, un essai en court-circuit est effectué jusqu'à stabilisation de la température du circuit magnétique et des enroulements.

23 Temperature-rise test (type test)

23.1 General

The relevant requirements in 5.1, 5.2.3, 5.4, 5.5 and 5.6 of IEC 60076-2 apply. A three phase supply shall be used for the temperature rise test on three phase transformers.

23.2 Methods of loading

The manufacturer may choose any of the following methods may be applied.

23.2.1 Simulated load method

This method is applicable for an enclosed or non-enclosed or totally enclosed dry type unit with natural air or forced air cooling.

Temperature rise is established by combining the short-circuited test (load loss) and the open circuit test (no-load loss).

The temperature of the transformer shall be stabilised with that of the test laboratory environment. The resistance of the high voltage and low voltage windings shall be measured, these values will be used as reference values for the calculation of the temperature rise of the two windings. The ambient temperature of the test laboratory shall also be measured and registered.

For three-phase transformers, the resistance measurements shall be made between the central and an outer phase line terminals.

The location of the measuring points (that is, the ambient temperature thermometers and sensors on the transformer, if any), shall be the same for the reference and final measurements.

The winding short-circuited test shall be performed with rated current flowing in one winding and the other winding short-circuited and shall continue until the steady state condition of the windings and magnetic core are reached, see 23.4. The winding temperature rise, $\Delta\theta_c$ shall be established by the rise in resistance method or by superposition.

The open-circuit test, at rated voltage and rated frequency, shall be continued until steady-state condition of the winding and magnetic core is obtained, individual winding temperature rises, $\Delta\theta_e$ shall then be measured.

The test procedure shall be either:

- the winding short-circuited test carried out until stabilisation of the core and the winding temperature. Subsequently, an open-circuit test shall be carried out until stabilisation of the core and winding temperature is reached.

or

- the open-circuit test carried out until stabilisation of the core and the winding temperature. Subsequently, the winding short-circuited test shall be carried out until stabilisation of the core and winding temperature is reached.

L'échauffement final, $\Delta\theta'_c$, de chaque enroulement pour son courant assigné et à induction assignée du circuit magnétique est alors calculé par la formule suivante:

$$\Delta\theta'_c = \Delta\theta_c \left[1 + \left(\frac{\Delta\theta_e}{\Delta\theta_c} \right)^{1/K1} \right]^{K1}$$

où

$\Delta\theta'_c$ est l'échauffement total de l'enroulement considéré;

$\Delta\theta_c$ est l'échauffement d'enroulement à l'essai de court-circuit;

$\Delta\theta_e$ est l'échauffement de l'enroulement considéré dû à l'essai à vide;

$K1 = 0,8$ pour ventilation naturelle et $0,9$ pour ventilation forcée.

23.2.2 Méthode en opposition²

Cette méthode est appropriée quand on peut disposer de deux transformateurs semblables et de l'équipement de test nécessaire. Elle est applicable pour des transformateurs avec ou sans enveloppe avec ventilation naturelle ou forcée.

La température du transformateur doit être stabilisée par rapport à la température ambiante du laboratoire d'essai. La résistance des enroulements haute tension et basse tension doit être mesurée, ces valeurs seront utilisées comme valeurs de référence pour le calcul de l'échauffement des deux enroulements. La température ambiante du laboratoire d'essai doit également être mesurée et enregistrée.

L'emplacement des points de mesure doit être le même pour les mesures finales que pour les mesures de référence.

Pour les transformateurs triphasés, les mesures de résistance doivent être réalisées entre la phase centrale et une phase extrême.

Dans un transformateur triphasé, il convient de réaliser de préférence la mesure avec la colonne du milieu dans le cas d'un enroulement connecté en étoile.

Deux transformateurs, dont l'un est le transformateur en essai, sont connectés en parallèle et de préférence les enroulements internes sont excités à la tension assignée du transformateur sous essai. En utilisant des rapports de tension différents, ou une tension injectée, on fait circuler le courant assigné dans le transformateur en essai jusqu'à stabilisation de la température du circuit magnétique et des enroulements. Voir les Figures 5 et 6.

² La durée du test peut être réduite en alimentant le circuit pour une période de temps (préférentiellement pas inférieure à 12 h) avant l'application du courant aux enroulements.

The total winding temperature rise, $\Delta\theta'_c$, of each winding, with rated current in the winding and normal excitation of the core, is calculated by the following formula:

$$\Delta\theta'_c = \Delta\theta_c \left[1 + \left(\frac{\Delta\theta_e}{\Delta\theta_c} \right)^{1/K1} \right]^{K1}$$

where

$\Delta\theta'_c$ is the total winding temperature rise;

$\Delta\theta_c$ is the winding temperature rise at the short circuited test;

$\Delta\theta_e$ is the individual winding temperature rise at the open circuited test;

$K1 = 0,8$ for natural air cooling and $0,9$ for forced air cooling.

23.2.2 Back-to-back method²

This method is appropriate when there are two similar transformers and the necessary test equipment is available. It is applicable for enclosed or non-enclosed dry-type units with natural air or forced air cooling.

The temperature of the transformer shall be stabilised with that of the test laboratory environment. The resistance of the high voltage and low voltage windings shall be measured, these values will be used as reference values for the calculation of the temperature rise of the two windings. The ambient temperature of the test laboratory shall also be measured and registered.

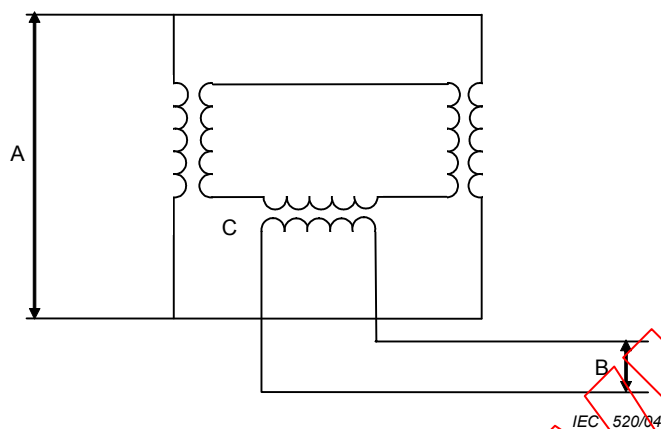
The location of the measuring points shall be the same for the reference and final measurements.

For three-phase transformers, the resistance measurements shall be made between the central and an outer phase line terminals.

In a three phase transformer, the measurement should preferably associated with the middle limb in case of star connected winding.

Two transformers, one of which is the transformer under test, are connected in parallel, and preferably the inner windings are excited at the rated voltage of the transformer under test. By means of different voltage ratios or an injected voltage, the rated current is made to flow in the transformer under test until stabilisation of the core and winding temperatures. See Figures 5 and 6.

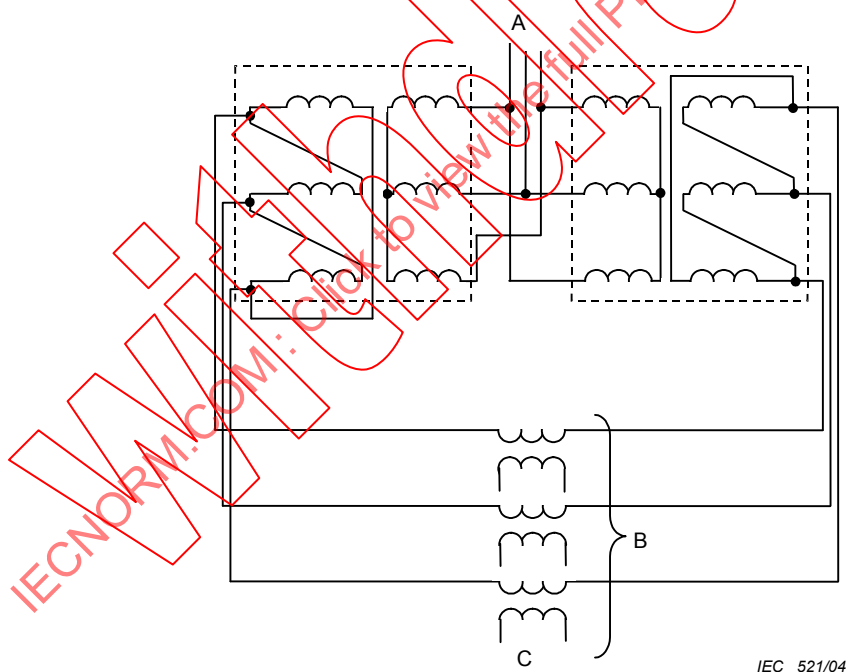
² The duration of the test may be reduced by exciting the core for a period of time (preferably not less than 12 h) prior to the application of test current to the windings.



Légende

- A Source d'alimentation en tension à fréquence assignée pour les pertes à vide
- B Source pour le courant assigné à fréquence assignée pour les pertes en charge
- C Transformateur amplificateur

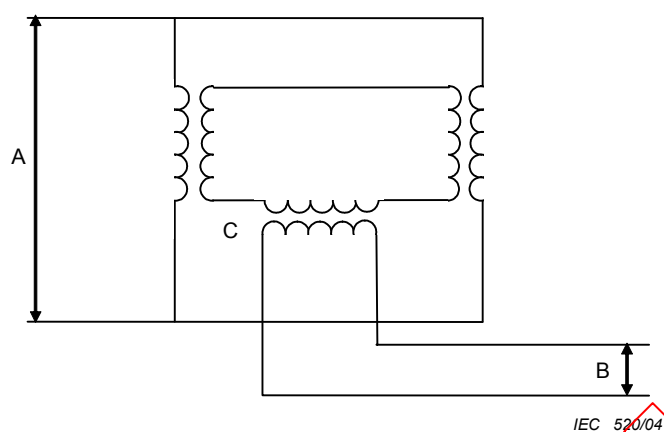
Figure 5 – Exemple de méthode de récupération – Monophasé



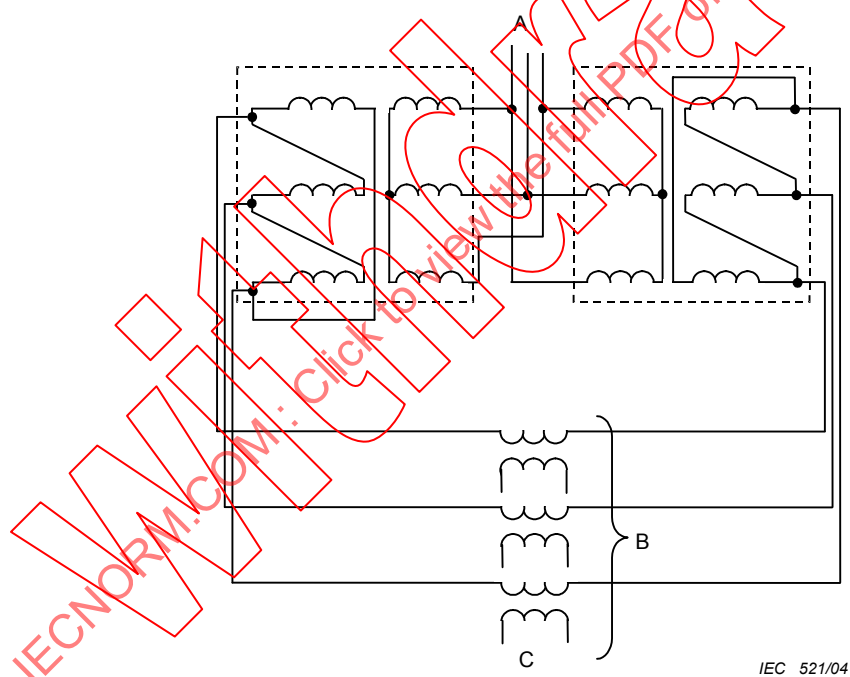
Légende

- A Source d'alimentation en tension à fréquence assignée pour les pertes à vide
- B Source pour le courant assigné à fréquence assignée pour les pertes en charge
- C Transformateur amplificateur

Figure 6 – Exemple de méthode de récupération – Triphasé

**Key**

- A Voltage source at rated frequency for no-load losses
- B Source for rated current at rated frequency for load losses
- C Booster transformer

Figure 5 – Example of back-to-back method – Single phase**Key**

- A Voltage source at rated frequency for no-load losses
- B Source for rated current at rated frequency for load losses
- C Booster transformer

Figure 6 – Example of back-to-back method – Three-phase

23.2.3 Méthode de mise en charge directe³

Cette méthode est applicable uniquement pour les petits transformateurs.

Un enroulement du transformateur, de préférence l'enroulement interne, est excité à tension assignée, l'autre étant connecté sur une charge appropriée telle que les courants assignés circulent dans les deux enroulements.

23.3 Correction d'échauffement des enroulements en cas de courant réduit

Si le courant d'essai I_t est inférieur à la valeur assignée du courant I_N mais au moins égal à 90 % de I_N , les échauffements, $\Delta\theta_t$ des enroulements doivent être mesurés par la méthode de variation de résistance quand l'équilibre thermique des enroulements et du circuit magnétique aura été atteint, et corrigés pour obtenir les échauffements $\Delta\theta_N$, pour les conditions assignées de charge en utilisant la formule:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_t \left[\frac{I_N}{I_t} \right]^q$$

où

$\Delta\theta_N$ est l'échauffement de l'enroulement en condition de charge nominale;

$\Delta\theta_t$ est l'échauffement de l'enroulement au courant d'essai;

I_N est la valeur du courant assigné;

I_t est la valeur du courant de l'essai.

La valeur de q doit être:

1,6 pour les transformateurs AN;

1,8 pour les transformateurs AF.

23.4 Détermination des conditions d'équilibre thermique

L'échauffement final est atteint quand l'échauffement devient constant; on considère que cela est obtenu quand l'échauffement ne varie pas, en une heure, de plus de 1 K.

Afin de déterminer si les conditions d'équilibre thermique ont été atteintes, des thermocouples ou des thermomètres doivent être mis en place sur les surfaces suivantes:

- Pour tous les types de transformateurs définis à l'Article 3: centre de la culasse supérieure et aussi près que possible des conducteurs intérieurs de l'enroulement basse tension au sommet de l'enroulement, la mesure étant faite sur la colonne centrale en cas d'appareil triphasé.

24 Mesure du niveau de bruit (essai spécial)

Les exigences correspondantes de la CEI 60076-10 s'appliquent.

NOTE Les garanties de niveau de bruit sont basées sur des conditions de champ libre et une apparente augmentation du niveau de bruit peut être notée sur site en raison de la réflexion due aux murs, sol et plafond.

³ La durée du test peut être réduite en alimentant le circuit pour une période de temps (préférentiellement pas inférieure à 12 h) avant l'application du courant aux enroulements.

23.2.3 Direct loading method³

This method is only applicable for small transformers.

One winding, preferably the inner winding, of the transformer is excited at rated voltage with the other connected to a suitable load such that rated currents flow in both windings.

23.3 Winding temperature-rise correction for reduced current

When the input test current I_t is below the rated value of current I_N , but not less than 90 % I_N , the temperature rises, $\Delta\theta_t$, of the windings, shall be measured by the resistance method when steady-state conditions of the winding and magnetic core have been reached, and corrected to rated load conditions, $\Delta\theta_N$, by the formula:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_t \left[\frac{I_N}{I_t} \right]^q$$

where

$\Delta\theta_N$ is the temperature rise of the winding at the rated load condition;

$\Delta\theta_t$ is the temperature rise of the winding at the test current;

I_N is the rated value of current;

I_t is the input test current.

The value of q shall be taken as:

1,6 for AN transformers;

1,8 for AF transformers.

23.4 Determination of steady state conditions

The ultimate temperature rise is reached when the temperature rise becomes constant; this is considered to have been achieved when the temperature rise does not vary by more than 1 K per hour.

For the purpose of determining when steady state conditions have been achieved, thermocouples or thermometers shall be applied to the following surfaces:

- For all types of transformers defined in Clause 3: centre of top yoke and as close as practicable to the innermost low-voltage winding conductors at the top of the winding, the measurement being on the centre leg of a three-phase unit.

24 Measurement of sound level (special test)

The relevant requirements in IEC 60076-10 apply.

NOTE Sound level guarantees are based on free field conditions and apparent increase in sound level may be noted on site due to reflections from the hard building walls, floor and ceiling.

³ The duration of the test may be reduced by exciting the core for a period of time (preferably not less than 12 h) prior to the application of test current to the windings.

25 Essai de tenue au court-circuit (essai spécial)

Les exigences correspondantes de la CEI 60076-5 s'appliquent.

L'essai de décharges partielles doit être renouvelé après l'essai de tenue au court-circuit. Les valeurs finales ne doivent pas dépasser les limites données en 22.5.

26 Essai d'environnement (essai spécial)

26.1 Généralités

Cet essai détermine l'aptitude des transformateurs aux classes d'environnement telles que définies en 13.2. Pour la séquence d'essai, se reporter à 13.4.

Sauf spécification contraire, les essais doivent être effectués sur un transformateur complètement assemblé, équipé de ses accessoires (si appropriés pour l'essai).

Le transformateur et ses accessoires doivent être neufs et propres sans aucun traitement additionnel de surface des parties isolantes.

26.2 Validité de l'essai

La validité des résultats des essais d'environnement réalisés sur un transformateur peut être étendue à d'autres transformateurs basés sur des critères de conception identiques, tels que:

- conception identique (par exemple, enroulements contenus en isolation solide ou non, type d'enroulement, degré de protection, etc.);
- matériaux isolants principaux identiques.

26.3 Procédures d'essai

26.3.1 Transformateurs de classe E1

Il s'agit d'un essai de condensation.

Le transformateur doit être placé dans une salle d'essai dont la température et l'humidité sont contrôlées.

Le volume de la salle doit être d'au moins cinq fois celui du parallélépipède circonscrit au transformateur. Les distances des différentes parties du transformateur aux murs, au plafond et aux buses d'aspersion ne doivent pas être inférieures à la plus petite distance de phases entre des pièces sous tension du transformateur et avec un minimum de 150 mm.

La température de l'air dans la salle d'essai doit être telle qu'elle assure la condensation sur le transformateur.

L'humidité dans la salle doit être maintenue au-dessus de 93 %. Ceci peut être obtenu en pulvérisant périodiquement ou en continu une quantité adéquate d'eau.

La conductivité de l'eau doit être comprise entre 0,1 S/m et 0,3 S/m.

La position des buses d'aspersion doit être choisie de telle sorte que le transformateur ne soit pas directement aspergé.

Il ne doit pas tomber d'eau du plafond sur le transformateur en essai.

25 Short-circuit test (special test)

The relevant requirements in IEC 60076-5 apply.

The partial discharge test shall be repeated after the short-circuit test. The final values shall not exceed the limits given in 22.5.

26 Environmental test (special test)

26.1 General

This test establishes the suitability of transformers for environmental classes as defined in 13.2. For the test sequence, see 13.4.

If not otherwise specified, the tests shall be performed on one transformer completely assembled, fitted with its accessories (relevant for the test).

The transformer and its accessories shall be new and clean without any additional surface treatment of the insulating parts.

26.2 Validity of the test

The validity of the results of an environmental test carried out on a transformer can be extended to other transformers based on the same design criteria, such as:

- same conceptual design (for example, windings contained in solid insulation or not, winding type, degree of protection, etc.);
- same main insulating materials.

26.3 Testing procedure

26.3.1 Class E1 transformers

This test is a condensation test.

The transformer shall be placed in a test chamber in which temperature and humidity are kept under control.

The volume of the chamber shall be at least five times that of the rectangular box circumscribing the transformer. The clearances from any part of the transformer to walls, ceiling and spraying nozzles shall be not less than the smallest phase-to-phase clearance between live parts of the transformer and not less than 150 mm.

The temperature of the air in the test chamber shall be such as to ensure condensation on the transformer.

The humidity in the chamber shall be maintained above 93 %. This may be achieved by periodically or continuously atomising a suitable amount of water.

The conductivity of the water shall be in the range of 0,1 S/m to 0,3 S/m.

The position of the mechanical atomisers shall be chosen in such a way that the transformer is not directly sprayed.

No water shall drop from the ceiling upon the transformer under test.

Le transformateur doit être laissé dans une atmosphère ayant un taux d'humidité relative supérieur à 93 % pendant au moins 6 h, sans être mis sous tension.

Dans les 5 min suivantes, le transformateur doit être soumis à un essai de tension induite tel que spécifié ci-dessous:

- Les transformateurs dont les enroulements sont destinés à être connectés à un réseau dont le neutre est relié à la terre directement ou au travers d'une impédance de faible valeur, doivent être alimentés sous une tension de 1,1 fois la tension assignée pendant 15 min.
- Les transformateurs dont les enroulements sont connectés à un réseau à neutre isolé ou à neutre relié à la terre au travers d'une impédance de forte valeur doivent être soumis à un essai de tension induite pendant 3 périodes successives de 5 min. Pendant cet essai, chaque borne à haute tension doit être successivement raccordée à la terre et une tension égale à 1,1 fois la tension assignée devra être appliquée entre chaque autre borne haute tension et la terre. L'essai triphasé peut être remplacé par des essais monophasés, avec les deux autres bornes de phase non reliées à la terre connectées entre elles.

Il est recommandé que cet essai soit effectué dans la salle d'essai.

Pendant l'application de la tension, aucun contournement ne doit se produire et un examen visuel ne doit révéler aucun cheminement important.

26.3.2 Transformateurs de classe E2

Cette procédure d'essai comprend un essai de condensation et un essai de pénétration d'humidité. L'essai de condensation doit être le même que celui décrit en 26.3.1, à l'exception de la conductivité de l'eau qui doit être comprise entre 0,5 S/m et 1,5 S/m.

Au début de l'essai de pénétration d'humidité, le transformateur doit être en condition sèche. Le transformateur doit être installé hors tension et laissé dans la salle climatique pendant 144 h. La température de la salle climatique doit être maintenue à $(50 \pm 3) ^\circ\text{C}$ et son humidité relative à $(90 \pm 5) \%$. A la fin de cette période et après 3 h dans des conditions ambiantes normales au plus tard, le transformateur doit être soumis à l'essai de tension de tenue au CA de source séparée et à l'essai de tension à la tension induite, mais à des valeurs d'essai de tension réduites à 80 % des valeurs normalisées.

Il ne doit se produire ni contournement ni amorçage pendant les essais diélectriques et un examen visuel ne doit révéler aucun cheminement important.

27 Essai climatique (essai spécial)

27.1 Essai de choc thermique (essai spécial)

Cet essai déterminera la conformité des transformateurs aux classes climatiques définies en 13.1. Pour la séquence d'essai, se reporter à 13.4.

27.2 Validité de l'essai

La validité des résultats des essais climatiques réalisés sur un transformateur peut être étendue à d'autres transformateurs basés sur des critères de conception identiques, tels que:

- conception identique (par exemple, enroulements contenus en isolation solide ou non, type d'enroulement, degré de protection, etc.);
- même échauffement moyen pour les enroulements (se reporter au Tableau 2);
- matériaux de conduction identiques;
- matériaux isolants principaux identiques.

The transformer shall be kept in air having a relative humidity above 93 % for not less than 6 h, without being energised.

Within 5 min thereafter the transformer shall be submitted to a test with induced voltage as follows:

- Transformers with windings intended for connection to a system which are solidly earthed or earthed through a low impedance shall be energised at a voltage of 1,1 times the rated voltage for a period of 15 min.
- Transformers with windings intended for connection to systems which are isolated or earthed through a considerable impedance shall be submitted to a test with induced voltage for 3 successive periods of 5 min. During the test, each high voltage terminal in turn shall be connected to earth and a voltage of 1,1 times the rated voltage shall be applied between the other terminals and earth. The three-phase test can be replaced by single-phase tests with the two non-earthed phase terminals being interconnected.

Preferably, the above test should be made in the test chamber.

During the voltage application, no flashover shall occur and visual inspection shall not show any serious tracking.

26.3.2 Class E2 transformers

This test procedure includes a condensation test and a humidity penetration test. The condensation test shall be the same as described under 26.3.1, except for the conductivity of water which shall be in the range of 0,5 S/m to 1,5 S/m.

At the beginning of the humidity penetration test, the transformer shall be in a dry condition. It shall be installed in a de-energised condition and held in the climatic chamber for 144 h. The temperature of the climatic chamber shall be held at $(50 \pm 3) ^\circ\text{C}$ and the relative humidity held at $(90 \pm 5) \%$. At the end of this period and after 3 h in normal ambient conditions at the latest, the transformer shall be subjected to the separate-source AC withstand voltage test and the induced AC withstand voltage test, but at voltages reduced to 80 % of the standardised values.

There should be neither flashover nor breakdown during the dielectric tests and visual inspection shall not show any serious tracking.

27 Climatic test (special test)

27.1 Thermal shock test (special test)

This test will determine the suitability of transformers for climatic classes as defined in 13.1. For the test sequence, see 13.4.

27.2 Validity of the test

The validity of the results of a climatic test carried out on a transformer can be extended to other transformers based on the same design criteria, such as:

- same conceptual design (for example, windings contained in solid insulation or not, winding type, degree of protection, etc.);
- same average temperature rise for the windings (according to Table 2);
- same conducting materials;
- same main insulating materials.

27.3 Essai de choc thermique pour transformateurs de classe C1

27.3.1 Méthode d'essai

L'essai doit être réalisé sur un transformateur complet⁴ sans enveloppe, s'il en a une. Le transformateur doit être placé dans une salle d'essai.

La température ambiante de la salle d'essai doit être mesurée à au moins 3 endroits situés à 0,1 m de la surface externe et à mi-hauteur du matériel en essai. Les valeurs moyennes des lectures doivent être prises comme température de référence de l'air.

La procédure d'essai suivante doit être appliquée:

- a) La température ambiante de la salle d'essai doit être progressivement abaissée jusqu'à $(-25 \pm 3) ^\circ\text{C}$ en 8 h et maintenue à cette valeur pendant au moins 12 h jusqu'à ce que la stabilisation thermique soit obtenue.
- b) La température doit être alors remontée progressivement jusqu'à $(-5 \pm 3) ^\circ\text{C}$ en 4 h environ. Cette température doit être maintenue pendant au moins 12 h jusqu'à ce que la stabilisation thermique soit obtenue.
- c) Un choc thermique doit ensuite être effectué en appliquant un courant égal à deux fois la valeur du courant assigné de l'enroulement en essai (contenu dans une isolation solide). Le courant doit être maintenu jusqu'à ce que l'enroulement en essai atteigne une température moyenne correspondant à l'échauffement moyen de l'enroulement, conformément au Tableau 2, majoré de $40 ^\circ\text{C}$ (température ambiante maximale en conditions de fonctionnement normal). La température moyenne des enroulements doit être déterminée par la méthode de variation de la résistance. Il est recommandé de réaliser le choc thermique en appliquant l'une ou l'autre des deux méthodes suivantes.

1) Essai avec courant continu

Le choc thermique prescrit doit être réalisé en appliquant un courant continu de la valeur spécifiée à l'enroulement devant être testé. Dans le cas des transformateurs polyphasés, il est recommandé d'appliquer le courant d'essai aux bobines de toutes les phases connectées en série.

NOTE 1 Pour mettre les bobines en série, il peut s'avérer nécessaire de retirer les connections des enroulements.

Le contrôle de la température moyenne de l'enroulement tout au long de l'essai peut être effectué directement par la méthode de l'ampèremètre et du voltmètre en mesurant le courant d'essai et la chute de tension.

2) Essai avec courant alternatif

Le choc thermique prescrit doit être réalisé en appliquant un courant alternatif de valeur spécifiée à l'enroulement devant être essayé, avec le ou les autres enroulements court-circuités. Dans le cas des transformateurs polyphasés, il est recommandé d'appliquer un système symétrique de courant. Il est recommandé que la surveillance de la température moyenne de l'enroulement tout au long de l'essai soit réalisé en courant continu en superposant le courant de mesure au courant alternatif de l'essai, ou selon toute autre méthode équivalente.

3) Essai avec courant alternatif, autre méthode

Un courant égal à deux fois le courant assigné doit être appliqué au transformateur avec l'un des enroulements en court-circuit. La température dans chaque enroulement est contrôlée en lisant les capteurs de température fixés en haut et en bas de la surface de l'enroulement. Les capteurs sont calibrés par un essai de calibration mené à température ambiante normale avec un courant égal à deux fois la valeur du courant assigné, cet essai de calibration est réalisé avant l'essai réel.

⁴ Par agrément entre le fournisseur et l'acheteur, le test peut être effectué sur toutes les bobines démontées du circuit. L'essai de contrôle diélectrique peut être effectué après remontage des bobines sur le circuit.

27.3 Thermal shock test for C1 class transformers

27.3.1 Test method

The test shall be carried out on a complete transformer⁴ without enclosure, if any. The transformer shall be placed in a test chamber.

The ambient temperature in the chamber shall be measured at a minimum of 3 positions located 0,1 m from the external surface and at half the height of the test object. The mean values of the readings shall be taken as the reference air temperature.

The following test procedure shall be applied:

- a) The air temperature in the test chamber shall be gradually decreased to $(-25 \pm 3) ^\circ\text{C}$ in 8 h and then maintained at this value for at least 12 h. until steady state condition has been reached.
- b) The temperature shall then be gradually increased up to $(-5 \pm 3) ^\circ\text{C}$ in about 4 h. This temperature shall be maintained for at least 12 h until steady state condition has been reached.
- c) A thermal shock shall then be performed by applying a current equal to twice the rated current to the winding under test (contained in solid insulation). The current shall be maintained until the winding under test reaches a mean temperature corresponding to the average winding temperature rise, according to Table 2, plus $40 ^\circ\text{C}$ (maximum ambient temperature in normal service conditions). The mean temperature reached by the windings shall be determined by resistance variation. The thermal shock should be performed by applying one of the following methods.

1) Test with DC supply

The prescribed thermal shock shall be performed by applying a DC current of the specified value to the winding to be tested. In case of multiphase transformers, the test current should be applied to all phase coils connected in series.

NOTE 1 To put the coils in series, it could be necessary to remove the winding connections.

The monitoring of the winding mean temperature for the duration of the test can be made directly by the volt-ampere method measuring the test current and the relevant voltage drop.

2) Test with AC supply

The prescribed thermal shock shall be performed by applying an AC current of the specified value to the winding to be tested, with the other winding(s) short-circuited. In case of multiphase transformers, a symmetrical system of currents should be applied. The monitoring of the winding mean temperature for the duration of the test should be performed in DC by over-positioning the measuring current to the AC test current, or according to other equivalent method.

3) Test with AC supply, alternative method

Twice the rated current shall be supplied to the transformer with one of the windings short-circuited. The temperature in each of the windings is monitored by readings of temperature sensors fixed near the bottom and top of the winding surface. The sensors are calibrated by a calibration test with twice the rated current carried out at normal ambient temperature before the actual test.

⁴ By agreement between supplier and purchaser, the test may be carried out on all coils removed from the core. The final dielectric checks should be carried out after reassembling the tested coils on the unit.

Les capteurs sont calibrés en comparant les lectures du capteur avec l'échauffement des enroulements tel que mesuré par la variation de résistance d'enroulement. De cette façon, la lecture des capteurs correspondant à un échauffement moyen de l'enroulement selon le Tableau 2, augmenté de 40 °C est déterminée. La même lecture de capteur doit être obtenue pendant l'essai, celui-ci commençant à basse température ambiante.

NOTE 2 Il convient de veiller à éviter que certains enroulements soient en surchauffe à cause des différents comportements de transfert thermique des parties du transformateur.

- d) Après le choc thermique, le transformateur doit être ramené à une température de (25 ± 10) °C.

27.3.2 Critères d'essai

Au moins 12 h après la fin de l'essai de choc thermique, le transformateur doit être soumis aux essais individuels de diélectrique (essais de tenue à la surtension induite et à la source séparée), conformément au niveau d'isolement des enroulements, mais à des valeurs de tension réduites à 80 % des valeurs normalisées.

En complément, pour les transformateurs dont les enroulements sont à isolation solide (type enrobés), des mesures de décharges partielles doivent être effectuées selon l'Article 22. La tension d'essai ne doit pas dépasser la valeur d'essai de tension induite réduite (160 % de la valeur assignée) et les valeurs mesurées ne doivent pas dépasser celles prescrites pour les essais individuels.

Un examen visuel des enroulements en essai ne doit pas révéler d'anomalies visibles telles que fissures et fentes.

27.4 Essai de choc thermique pour transformateurs de classe C2

27.4.1 Méthode d'essai

Les méthodes d'essai sont les mêmes que celles figurant en 27.3.1 avec les modifications suivantes:

L'étape b) est annulée afin de réaliser l'essai de choc thermique depuis –25 °C.

27.4.2 Critères d'essai

Les critères d'essai sont les mêmes que ceux décrits en 27.3.2.

28 Essai de comportement au feu (essai spécial)

28.1 Généralités

Pour optimiser le comportement au feu d'un transformateur, il est nécessaire de réduire son émission de substances toxiques et de fumée opaque dans le cas d'un incendie. Il convient d'éviter l'utilisation de matériaux halogénés. Le contrôle de l'émission de gaz corrosifs et nocifs peut se faire selon 28.2. De plus, le transformateur ne doit pas contribuer de façon significative à l'énergie thermique d'un feu extérieur. Le comportement au feu doit être évalué par la procédure d'essai figurant en 28.3.

28.2 Contrôle de l'émission de gaz corrosifs et nocifs

L'émission de gaz corrosifs et nocifs doit être contrôlée sur de petites quantités des matériaux combustibles présents dans le transformateur.

The sensors are calibrated by comparing the sensor readings with the winding temperature rise as measured by change in winding resistance. In this way, the sensor reading corresponding to an average winding temperature rise according to Table 2 plus 40 °C is determined. The same sensor reading shall be obtained in the test, which starts at low ambient temperature.

NOTE 2 Care should be taken to prevent that some windings be thermally overstressed because of the different thermal transient behaviour of the transformer parts.

- d) After the thermal shock, the transformer shall be brought back to a temperature of $(25 \pm 10) ^\circ\text{C}$.

27.3.2 Test criteria

At least 12 h after the end of the thermal shock test, the transformer shall be submitted to the dielectric routine tests (separate-source and induced overvoltage withstand tests), in accordance with the insulation level of the windings, but at voltages reduced to 80 % of the standard values.

In addition, for transformers having windings contained within solid insulation, partial discharge measurements shall be carried out according to Clause 22. The test voltage shall not exceed the test voltage of the reduced induced overvoltage withstand test (160 % of the rated value) and the measured values shall not exceed those prescribed for routine tests.

When visually inspected, the windings shall show no visible abnormality, such as cracks or slits.

27.4 Thermal shock test for C2 class transformers

27.4.1 Test method

The test methods are the same as in 27.3.1 with the following modification:

Step b) is deleted in order to carry out the thermal shock test from $-25 ^\circ\text{C}$.

27.4.2 Test criteria

The test criteria are the same described in 27.3.2.

28 Fire behaviour test (special test)

28.1 General

To optimise the behaviour of a transformer, it is necessary to minimise its emission of toxic substances and opaque smoke in the event of burning. The use of halogenic materials should be avoided. Checking of corrosive and harmful gas emission shall be made according to 28.2. Moreover, the transformer shall not contribute significantly to the thermal energy of an external fire. The fire behaviour shall be assessed by the test procedure in 28.3.

28.2 Checking of corrosive and harmful gases emission

The emission of corrosive and harmful gases shall be checked on small quantities of the combustible materials present in the transformer.

En principe, il convient que les essais soient capables de détecter la présence de composants tels que l'acide chlorhydrique (HCl), l'acide cyanhydrique (HCN), l'acide bromhydrique (HBr), l'acide fluorhydrique (HF), le dioxyde de soufre (SO₂) et l'aldéhyde formique (HCHO).

Les détails des procédures d'essai et les limites acceptables peuvent faire l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur, sauf si elles sont spécifiées dans des règlements nationaux.

28.3 Essai de comportement au feu pour transformateurs de classe F1

28.3.1 Objet d'essai

L'essai doit être effectué sur une phase complète d'un transformateur comprenant les bobines HT et BT, une colonne du circuit magnétique et les composants isolants, sans enveloppe, s'il y en a une. La colonne du circuit magnétique peut être remplacée par un matériau de dimensions et de comportement thermique à peu près similaires à celui d'origine. La culasse ne doit pas être considérée et les connexions de bornes basse tension coupées à l'extrémité.

Le diamètre de la bobine extérieure des enroulements circulaires ou la dimension maximale pour les enroulements non circulaires devant être testés, doivent être compris entre 400 mm et 500 mm pour un transformateur normal.

NOTE Des enroulements avec des dimensions plus grandes ou plus petites peuvent être testés après accord.

28.3.2 Validité de l'essai

La validité des résultats des essais de feu réalisés sur un transformateur peut être étendue à d'autres transformateurs basés sur des critères de conception identiques, tels que:

- conception identique (par exemple, enroulements contenus en isolation solide ou non, type d'enroulement, degré de protection, etc.);
- même échauffement moyen pour les enroulements (se reporter au Tableau 2);
- matériaux isolants principaux identiques.

28.3.3 Installation d'essai

28.3.3.1 Salle d'essai

La salle d'essai doit être basée sur celle décrite dans la CEI 60332-3-10 (relative aux câbles), voir Figure 7. Les parois doivent être faites d'acier résistant à la chaleur avec une épaisseur de 1,5 mm à 2,0 mm, et une isolation thermique de façon à avoir un transfert de chaleur d'environ 0,7 W/(m²K). Il convient d'installer, si cela est possible, une fenêtre résistant au feu. Les dimensions de la chambre d'essai sont indiquées au Tableau 6.

In principle, the tests should be able to detect the presence of components such as hydrogen chloride (HCl), hydrogen cyanide (HCN), hydrogen bromide (HBr), hydrogen fluoride (HF), sulfur dioxide (SO₂), formaldehyde (HCHO).

The details of test procedures and acceptable limits may be agreed between purchaser and supplier unless specified in national regulations.

28.3 Fire behaviour test for F1 class transformer

28.3.1 Test object

The test shall be carried out on one complete phase of a transformer comprising HV and LV coils, core leg and insulation components, without enclosure, if any. The core leg may be replaced by material of approximately similar dimensions and thermal behaviour as the original core leg. The yoke shall not be considered and the LV terminal leads cut at upper and lower end coil level.

The outer coil diameter of circular or the maximum cross dimension for non-circular windings to be tested shall be between 400 mm and 500 mm of a standard transformer.

NOTE Windings with larger or smaller dimensions may be tested by agreement.

28.3.2 Validity of the test

The validity of the results of a fire test carried out on a transformer can be extended to other transformers based on the same design criteria, such as:

- same conceptual design (for example, windings contained in solid insulation or not, winding type, degree of protection, etc.);
- same average temperature rise for the windings (according to Table 2);
- same main insulating materials.

28.3.3 Testing installation

28.3.3.1 Test chamber

The test chamber shall be based on the one described in IEC 60332-3-10 (related to cables), see Figure 7. The walls shall be made of heat resistant steel with a thickness of 1,5 mm to 2,0 mm, thermally insulated, so as to give a heat transfer of approximately 0,7 W/(m²K). A fire resistant window should be fitted if possible. The dimensions of the test chamber are shown in Table 6.

Tableau 6 – Dimensions de la salle d'essai (voir Figures 7 et 8)

Toutes les dimensions sont en mm

A ₁₎	B		C	D	E	F		Diamètre G	Diamètre H
	Minimum	Maximum				Minimum	Maximum		
9 000	3 500	4 000	2 000	1 000	600	1 500	2 000	500	500
J	K Minimum	L Diamètre	M	N	P	Q	R	S	T
300	400	350	800	400	800	500	900	400	1 200
U	V	W	X	Y	Z	AA	AB ²⁾	AC ²⁾	
500	175	300	30	40	20	50	1 000	1 000	

¹⁾ Hauteur approximative.
²⁾ Dimension minimale.

La salle doit être équipée d'une cheminée d'un diamètre intérieur d'environ 500 mm et d'un conduit d'entrée d'air d'un diamètre intérieur d'environ 350 mm. La différence de niveau entre l'entrée d'air dans la salle d'essai et la sortie des gaz de la cheminée doit être d'environ 9 m. L'air est admis sous la salle d'essai à travers une grille (400 × 800) mm² et s'échappe dans la cheminée à travers une ouverture d'environ 0,3 m².

Dans la cheminée, il doit y avoir un tronçon de mesure d'un diamètre de 500 mm et d'une longueur d'au moins 600 mm dont l'extrémité inférieure est située de 1,5 m à 2,0 m au-dessus du niveau du plafond de la salle d'essai.

Dans le conduit d'entrée d'air, il doit y avoir un tronçon de mesure d'un diamètre de 350 mm et d'une longueur d'au moins 400 mm à une distance d'au moins 1 m de l'entrée d'air dans la salle d'essai et de l'entrée d'air dans le conduit.

Un clapet doit être installé dans la cheminée et/ou dans l'entrée d'air sauf si une circulation d'air forcée est prévue. Il convient que la chambre d'essai soit construite de telle façon que l'influence du vent sur le volume d'air entrant soit négligeable.

28.3.3.2 Sources d'inflammation (voir Figure 7)

La principale source de chaleur est de l'alcool éthylique (valeur calorifique 27 MJ/kg) brûlant dans un bac qui peut être cloisonné par des anneaux concentriques. Le diamètre extérieur de l'anneau utilisé dans ce bac doit être au moins 100 mm plus large que le diamètre externe de la bobine extérieure. Le diamètre intérieur du bac doit être au moins 40 mm plus petit que le diamètre interne de la bobine intérieure.

Le niveau initial d'alcool dans le bac doit être de (30 ± 1) mm, ce qui correspond à un temps de combustion d'environ 20 min.

Une deuxième source de chaleur est constituée d'un panneau électrique radiant plat, placé verticalement, d'une hauteur approximative de 800 mm et d'une largeur approximative de 500 mm, composé de résistances chauffantes d'une puissance totale de 24 kW avec une alimentation réglable de façon à maintenir le panneau à 750 °C. Un bouclier métallique hémicylindrique, d'un diamètre de 900 mm et d'une hauteur de 1,2 m, doit être placé à l'opposé du panneau.

NOTE Lors de l'essai d'enroulements d'une dimension extérieure supérieure à 500 mm, le bouclier peut être enlevé.