

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60076-13

Première édition
First edition
2006-05

Transformateurs de puissance –

**Partie 13:
Transformateurs auto-protégés
immergés dans un liquide diélectrique**

Power transformers –

**Part 13:
Self-protected liquid-filled transformers**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60076-13:2006

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 (www.iec.ch/searchpub) 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 (www.iec.ch/online_news/justpub) 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 (www.iec.ch/searchpub) 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 (www.iec.ch/online_news/justpub) 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**

60076-13

Première édition
First edition
2006-05

Transformateurs de puissance –

**Partie 13:
Transformateurs auto-protégés
immergés dans un liquide diélectrique**

Power transformers –

**Part 13:
Self-protected liquid-filled transformers**

© IEC 2006 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

Q

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Termes et définitions	10
4 Conditions d'emploi	10
5 Caractéristiques électriques	10
5.1 Puissance assignée	10
5.2 Tension la plus élevée pour le matériel	10
5.3 Enroulements	12
5.4 Prises	12
5.5 Groupe de couplage	12
5.6 Dimensionnement de la connexion du neutre de l'enroulement basse tension	12
5.7 Impédance de court-circuit	12
5.8 Niveaux d'isolement et essais diélectriques	12
5.9 Limites d'échauffement à la puissance assignée	14
5.10 Capacité de surcharge	14
6 Dispositif de protection et déconnexion (SPDD)	14
6.1 Exigences de fonctionnement	14
6.2 Principe de coordination	14
6.3 Exigences mécaniques	16
7 Exigences de construction	16
7.1 Système de conservation du liquide diélectrique	16
7.2 Traversées	16
7.3 Liquide diélectrique et matériaux des composants	16
7.4 Fonction de déconnexion	16
8 Informations à fournir par le client	16
9 Informations à fournir par le fabricant	18
10 Plaque signalétique	18
11 Essais	18
11.1 Liste et classification des essais (essais individuels de série, de type et spéciaux) ..	18
11.2 Essais individuels de série	18
11.3 Essais de type	18
11.4 Essai de court-circuit avec le dispositif de protection et de déconnexion déconnecté ou shunté	20
12 Procédure d'essai	22
12.1 Mesures des décharges partielles	22
12.2 Essai de pression du transformateur	22
12.3 Essais de mises sous tension	24
12.4 Essais de comportement du dispositif de protection et déconnexion	24
Figure 1 – Cycle de mesure des décharges partielles	22
Tableau 1 – Ordre des essais réalisés sur les prototypes A, B, C, D, E	20

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	11
4 Service conditions	11
5 Electrical characteristics.....	11
5.1 Rated power.....	11
5.2 Highest voltage for equipment.....	11
5.3 Windings	13
5.4 Tappings	13
5.5 Connection group.....	13
5.6 Dimensioning of the low-voltage winding neutral connection.....	13
5.7 Short-circuit impedance.....	13
5.8 Insulation levels and dielectric tests	13
5.9 Temperature rise limits at rated power	15
5.10 Overload capability.....	15
6 Self-protection and disconnection device (SPDD).....	15
6.1 Functional requirements	15
6.2 Coordination principle.....	15
6.3 Mechanical requirements.....	17
7 Constructional requirements.....	17
7.1 Liquid preservation system.....	17
7.2 Bushings	17
7.3 Dielectric liquid and component materials.....	17
7.4 Disconnection function	17
8 Information to be supplied by the customer	17
9 Information to be supplied by the manufacturer	19
10 Rating plate.....	19
11 Tests	19
11.1 List and classification of tests (routine, type and special tests).....	19
11.2 Routine tests	19
11.3 Type tests	19
11.4 Short-circuit test with the self-protection and disconnection device disconnected or bypassed	21
12 Test procedure	23
12.1 Measurement of partial discharges.....	23
12.2 Transformer pressure test	23
12.3 Switching cycle tests	25
12.4 Behaviour test of self-protection and disconnection device.....	25
Figure 1 – Partial discharge measurement cycle	23
Table 1 – Order for tests carried out on prototypes A, B, C, D, E	21

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

**Partie 13: Transformateurs auto-protégés
immergés dans un liquide diélectrique**

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 60076-13 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/530/FDIS	14/536/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 13: Self-protected liquid-filled 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 60076-13 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

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

FDIS	Report on voting
14/530/FDIS	14/536/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 comprend les parties suivantes, présentées 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 manoeuvre – Transformateurs de puissance et bobines d'inductance
- Partie 5: Tenue au court-circuit
- Partie 6: Réactances¹
- Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile
- Partie 8: Guide d'application
- Partie 10: Détermination des niveaux de bruit
- Partie 10-1: Détermination des niveaux de bruit – Guide d'application
- Partie 11: Transformateurs de type sec
- Partie 12: Guide de charge pour transformateurs de type sec¹
- Partie 13: Transformateurs auto-protégés immergés dans un liquide diélectrique
- Partie 14: Conception et application des transformateurs de puissance immergés dans du liquide utilisant des matériaux isolants haute température
- Partie 15: Gas-filled-type power transformers (titre français non disponible)¹

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

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

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 the 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
- Part 8: Application guide
- Part 10: Determination of sound levels
- Part 10-1: Determination of sound levels – Application guide
- Part 11: Dry-type transformers
- Part 12: Loading guide for dry-type power transformers¹
- Part 13: Self-protected liquid-filled transformers
- Part 14: Design and application of liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials
- Part 15: Gas-filled-type power transformers¹

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

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

¹ Under consideration.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 13: Transformateurs auto-protégés immergés dans un liquide diélectrique

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60076 s'applique aux transformateurs haute tension/basse tension auto-protégés, immergés dans un liquide diélectrique et à refroidissement naturel, d'une puissance assignée de 50 kVA à 1 000 kVA, destinés à une installation intérieure ou extérieure, ayant:

- un enroulement primaire (haute tension) dont la tension la plus élevée pour le matériel ne dépasse pas 24 kV;
- un enroulement secondaire (basse tension) dont la tension la plus élevée pour le matériel ne dépasse pas 1,1 kV.

Ces transformateurs sont équipés d'un dispositif de protection et de déconnexion permettant de protéger l'environnement, les biens et les personnes et évitant toute perturbation du réseau haute tension consécutive à une défaillance interne du transformateur.

Les transformateurs couverts par la présente norme sont conformes aux exigences applicables données dans les normes CEI 60076.

Le transformateur auto-protégé peut être utilisé conjointement avec d'autres dispositifs pour assurer la coordination et la sélectivité du système de protection. Le système de protection n'est pas conçu pour être opérationnel lorsque l'alimentation est réalisée à partir du côté basse tension. Le transformateur auto-protégé n'est pas prévu pour fonctionner en parallèle avec un autre transformateur.

NOTE Cette norme peut être appliquée à un transformateur avec une tension supérieure à 24 kV ou toute autre puissance assignée, par accord entre le fabricant et l'acheteur. Il convient alors d'effectuer les essais de validation au niveau approprié.

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 60076-1:1993, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*
Amendement 1 (1992)²

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

CEI 60076-3:2000, *Transformateurs de puissance – Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air*

CEI 60076-5:2000, *Transformateurs de puissance – Partie 5: Tenue au court-circuit*

² Il existe une version consolidée 2.1 (2000) qui inclut l'édition 2 et son amendement.

POWER TRANSFORMERS –

Part 13: Self-protected liquid-filled transformers

1 Scope

This part of IEC 60076 applies to high-voltage/low-voltage self-protected liquid-filled and naturally cooled transformers for rated power 50 kVA to 1 000 kVA for indoor or outdoor use having a

- primary winding (high-voltage) with highest voltage for equipment up to 24 kV;
- secondary winding (low-voltage) with highest voltage for equipment of 1,1 kV.

These transformers are equipped with a self-protection and disconnection device to protect the environment, property and people and prevent any disturbance of the high-voltage network from the consequences of an internal transformer fault.

Transformers covered by this standard comply with the relevant requirements prescribed in the IEC 60076 series.

The self-protected transformer may be used in conjunction with other devices to provide system coordination and sensitive system protection. The protection system is not designed to be functional when the power supply is from the low-voltage side. The self-protected transformer is not intended to function in parallel with another transformer.

NOTE This standard may be applied to transformers with a higher voltage than 24 kV or other rated power by agreement between the manufacturer and the purchaser. Validation tests should be carried out at the appropriate level.

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 60076-1:1993, *Power transformers – Part 1: General*
Amendment 1 (1999)²

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

IEC 60076-3:2000, *Power transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air*

IEC 60076-5:2000, *Power transformers – Part 5: Ability to withstand short circuit*

² There exists a consolidated edition 2.1 (2000) that includes edition 2 and its amendment.

CEI 60076-7, *Transformateurs de puissance – Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile*

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

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

CEI 60282-1, *Fusibles à haute tension – Partie 1: Fusibles limiteurs de courant*

CEI 60296, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillages de connexion*

CEI 60836, *Spécification pour liquides isolants silicones neufs pour usages électrotechniques*

CEI 61099, *Spécifications pour esters organiques de synthèse neufs à usages électriques*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

fonction de protection

fonction intégrée au transformateur destinée à éviter les conséquences externes provoquées par une défaillance dans le transformateur telles que: rupture de la cuve, explosion, projection de substances, arcs électriques et perturbations du réseau d'alimentation

3.2

fonction de déconnexion

interruption automatique de la liaison entre les bornes haute tension et la partie active du transformateur, du fait du fonctionnement du dispositif de protection et de déconnexion

Le but de cette fonction est d'éliminer tout courant et toute tension du côté basse tension.

3.3

dispositif de protection et de déconnexion

SPDD

dispositif qui possède la fonction de protection et la fonction de déconnexion

4 Conditions d'emploi

Les conditions normales d'emploi prescrites dans la CEI 60076-1 s'appliquent.

5 Caractéristiques électriques

5.1 Puissance assignée

La puissance assignée doit être conforme à 4.3 de la CEI 60076-1.

5.2 Tension la plus élevée pour le matériel

Les valeurs de la tension la plus élevée pour l'appareil doivent être

- jusqu'à 24 kV pour l'enroulement haute tension;
- 1,1 kV pour l'enroulement basse tension.

IEC 60076-7, *Power transformers – Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers*

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

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

IEC 60282-1, *High-voltage fuses – Part 1: Current-limiting fuses*

IEC 60296, *Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*

IEC 60836, *Specifications for unused silicone insulating liquids for electrotechnical purposes*

IEC 61099, *Specifications for unused synthetic organic esters for electrical purposes*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

self-protection function

function integrated into the transformer to prevent external consequences (tank rupture, explosion, substance spattering, arcing and disturbances to the power supply networks) resulting from a fault within the transformer

3.2

disconnection function

automatic interruption of the connection between high-voltage terminals and transformer active part by operation of the self-protection and disconnection device

The purpose of this function is to eliminate current and voltage on the low-voltage side.

3.3

self-protection and disconnection device

SPDD

device which has the self-protection function and the disconnection function

4 Service conditions

The normal service conditions prescribed in IEC 60076-1 apply.

5 Electrical characteristics

5.1 Rated power

The rated power shall comply with 4.3 of IEC 60076-1.

5.2 Highest voltage for equipment

The values of the highest voltage for equipment shall be

- up to 24 kV for the high-voltage winding;
- 1,1 kV for the low-voltage winding.

5.3 Enroulements

5.3.1 Enroulement haute tension

Ces transformateurs sont conçus pour une tension primaire unique.

5.3.2 Enroulement basse tension

Ces transformateurs sont conçus pour une tension secondaire unique.

5.4 Prises

La gamme de prises doit être limitée à $\pm 5\%$ pour assurer une coordination satisfaisante avec le système de protection. Les plages de prises préférentielles sont

- 0 %;
- $\pm 2,5\%$;
- $\pm 5\%$.

Le réglage doit se faire sur l'enroulement haute tension par un commutateur manœuvrable hors tension.

5.5 Groupe de couplage

Les groupes de couplage doivent être

- li0 ou lin0 pour les transformateurs monophasés;
- Yzn ou Dyn pour les transformateurs jusqu'à 160 kVA;
- Dyn pour les transformateurs de 250 kVA à 1 000 kVA.

L'indice horaire doit être 1 ou 5 ou 11 pour un transformateur triphasé, voir 3.10.6 de la CEI 60076-1.

5.6 Dimensionnement de la connexion du neutre de l'enroulement basse tension

Le conducteur du neutre et la borne du neutre de l'enroulement basse tension doivent être dimensionnés pour le courant assigné et le courant de défaut (défaut entre phase et conducteur du neutre).

5.7 Impédance de court-circuit

La valeur de l'impédance de court-circuit, pour une température de référence de 75 °C, est conforme à 3.2.2.3 de la CEI 60076-5.

5.8 Niveaux d'isolement et essais diélectriques

5.8.1 Enroulement basse tension

La tension de tenue assignée de courte durée à fréquence industrielle est de 10 kV.

Pour des transformateurs exposés à de plus fortes contraintes diélectriques, comme les transformateurs installés en zone suburbaines et rurales, la tension de tenue assignée aux chocs de foudre est de 30 kV.

NOTE La raison d'un niveau d'isolement plus élevé est de réduire le risque de défauts entre le côté basse tension du transformateur et la terre.

5.3 Windings

5.3.1 High-voltage winding

These transformers are designed for a single primary voltage.

5.3.2 Low-voltage winding

These transformers are designed for a single secondary voltage.

5.4 Tappings

The tapping range shall be limited to ± 5 % to ensure satisfactory coordination with the self-protection system. The preferred tapping ranges are

- 0 %;
- $\pm 2,5$ %;
- ± 5 %.

The tap shall be selected by the use of an off-circuit tap switch connected to the high-voltage winding.

5.5 Connection group

Connection groups shall be

- Ii0 or Iin0 for single-phase transformers;
- Yzn or Dyn for transformers up to 160 kVA;
- Dyn for transformers of 250 kVA to 1 000 kVA.

The clock notation figure shall be 1 or 5 or 11 for three-phase transformers; see 3.10.6 of IEC 60076-1.

5.6 Dimensioning of the low-voltage winding neutral connection

The neutral conductor and terminal of the low-voltage winding shall be dimensioned for rated current and fault current (fault between phase and neutral conductor).

5.7 Short-circuit impedance

The value of the short-circuit impedance at a reference temperature of 75 °C is in accordance with 3.2.2.3 of IEC 60076-5.

5.8 Insulation levels and dielectric tests

5.8.1 Low-voltage winding

The separate source a.c. withstand voltage is 10 kV.

For transformers exposed to higher dielectric stresses like suburban and rural installation transformers, the rated lightning impulse withstand voltage is 30 kV.

NOTE The reason for a higher insulation level is to reduce the risk of faults between the low-voltage side of the transformer and earth.

5.8.2 Enroulement haute tension

Les valeurs de la tension de tenue assignée aux chocs de foudre et la tension de tenue assignée de courte durée à fréquence industrielle doivent être conformes à celles prescrites dans la CEI 60076-3, Tableau 2 ou Tableau 3. On doit prendre la valeur la plus élevée de tenue aux chocs de foudre afin de résister aux surtensions apparaissant suite au fonctionnement du système de protection interne.

5.9 Limites d'échauffement à la puissance assignée

Les limites d'échauffement doivent être telles que prescrites dans la CEI 60076-2.

5.10 Capacité de surcharge

Le dispositif de protection et de déconnexion ne doit pas fonctionner avec les conditions de surcharge définies dans la CEI 60076-7.

6 Dispositif de protection et déconnexion (SPDD)

6.1 Exigences de fonctionnement

Ces transformateurs sont équipés d'un dispositif de protection et de déconnexion interne, qui, dans le cas d'un défaut interne, est conçu pour

- empêcher toute manifestation externe;
- confiner les défauts à l'intérieur de la cuve du transformateur. Cependant, la déformation de la cuve résultant du défaut est autorisée;
- empêcher la projection de fluide diélectrique, de matériaux ou de gaz de l'intérieur vers l'extérieur de la cuve;
- empêcher la propagation d'un arc électrique de l'intérieur vers l'extérieur de la cuve;
- éliminer le courant de défaut circulant dans le transformateur (déconnexion);
- ne déconnecter que le transformateur défectueux sans déclencher le réseau d'alimentation haute tension.

6.2 Principe de coordination

Le fabricant doit fournir les informations concernant les caractéristiques du dispositif de protection et de déconnexion haute tension, pour permettre à l'utilisateur

- de vérifier que les caractéristiques de la protection du réseau haute tension sont bien coordonnées, afin d'éviter un déclenchement intempestif de l'alimentation;
- de vérifier que les caractéristiques de la protection du réseau basse tension sont bien coordonnées, afin d'éviter un déclenchement intempestif du transformateur.

L'utilisateur doit s'assurer également que le schéma de protection du réseau basse tension est coordonné, afin d'éviter le déclenchement intempestif du dispositif de protection et de déconnexion à l'intérieur de la cuve du transformateur.

Le dispositif de protection et de déconnexion à l'intérieur de la cuve du transformateur n'est ni accessible ni réglable sur site.

Les courbes ou les données nécessaires pour définir le système de protection doivent être données. Les numéros de référence doivent être reportés sur la plaque signalétique.

5.8.2 High-voltage winding

The values of lightning impulse withstand voltage and separate source a.c. withstand voltage shall be as prescribed in IEC 60076-3, Table 2 or Table 3. The higher of the alternative lightning impulse values shall be chosen in order to withstand the overvoltages arising from the operation of the internal protection system.

5.9 Temperature rise limits at rated power

The temperature rise limits shall be as prescribed in IEC 60076-2.

5.10 Overload capability

The self-protection and disconnection device shall not operate under the permitted overload conditions defined in IEC 60076-7.

6 Self-protection and disconnection device (SPDD)

6.1 Functional requirements

These transformers are equipped with an internal self-protection and disconnection device which, in the case of an internal fault, is designed to

- prevent external effects;
- keep the damage within the transformer tank. However, tank distortion as the result of the fault is permitted;
- prevent ejection of dielectric fluid, material or gas from the inside to the outside of the tank;
- prevent the propagation of an electric arc from the inside to the outside of the tank;
- eliminate the fault current in the transformer (disconnection);
- disconnect only the faulty transformer without tripping the high-voltage feeder.

6.2 Coordination principle

The manufacturer shall provide information about the characteristics for the high-voltage self-protection and disconnection device to enable the user

- to verify that the characteristics of the high-voltage upstream network protection have been coordinated to prevent false tripping of the feeder;
- to verify that the characteristics of the low-voltage downstream network protection have been coordinated to prevent false tripping of the transformer.

The user shall also ensure that the protection scheme of the low-voltage network is coordinated in order to avoid unintended tripping of the self-protection and disconnection device inside the transformer tank.

The self-protection and disconnection device inside the transformer tank is neither accessible nor adjustable on site.

The curves or data necessary to define the protection system shall be given. Reference numbers shall be reported on the rating plate.

6.3 Exigences mécaniques

Le dispositif de protection et de déconnexion ne doit pas être déclenché par des chocs ou des vibrations résultant des conditions normales de transport et d'installation.

7 Exigences de construction

7.1 Système de conservation du liquide diélectrique

Sauf accord contraire entre le fabricant et l'acheteur, les transformateurs doivent être hermétiques à remplissage intégral.

7.2 Traversées

Les traversées haute tension doivent être conformes à la CEI 60137.

Le transformateur et les traversées de raccordement doivent résister aux contraintes et aux déformations

- résultant des conditions de défaut internes et externes pendant le temps durant lequel le système de protection et de déconnexion fonctionne;
- après le fonctionnement de la fonction de protection et de déconnexion, les traversées restant reliées au réseau d'alimentation;
- lors de la manutention, du transport et du stockage du transformateur.

NOTE Des dispositions spéciales peuvent être utilisées après accord entre le fabricant et l'acheteur.

7.3 Liquide diélectrique et matériaux des composants

Le liquide diélectrique préférentiel est l'huile minérale conforme à la CEI 60296. D'autres liquides diélectriques, tels que le fluide silicone conforme à la CEI 60836 et les esters synthétiques conformes à la CEI 61099 peuvent être utilisés après accord entre le fabricant et l'acheteur.

Les matériaux utilisés dans la construction du transformateur doivent être compatibles avec le liquide diélectrique.

NOTE L'utilisation de liquides autres que l'huile minérale peut nécessiter la réalisation d'essais spécifiques pour vérifier les caractéristiques opérationnelles du système de protection dans ce liquide.

7.4 Fonction de déconnexion

Dans le cas des transformateurs triphasés, le fabricant doit préciser si la déconnexion de trois phases ou de deux phases est réalisée par le dispositif.

8 Informations à fournir par le client

Au stade de l'appel d'offre, pour concevoir le dispositif de protection et de déconnexion et pour assurer un fonctionnement correct, les informations suivantes doivent être données:

- le type, la valeur et la durée des courants de défaut (courants de défaut triphasé et monophasé);
- les caractéristiques des dispositifs de protection du réseau.

6.3 Mechanical requirements

The self-protection and disconnection device shall not be triggered by shock or vibration resulting from normal transportation and installation conditions.

7 Constructional requirements

7.1 Liquid preservation system

Unless otherwise agreed between the manufacturer and the purchaser, the transformers shall be fully filled and hermetically sealed.

7.2 Bushings

The high-voltage bushings shall be in accordance with IEC 60137.

The transformer and the connection bushings shall withstand stresses and strains

- of internal and external fault conditions during the time the self-protection and disconnection function operates;
- after the time the self-protection and disconnection function operates with the bushings connected to the energized network;
- during handling, transportation and storage of the transformer.

NOTE Special terminal arrangements may be used by agreement between the manufacturer and the purchaser.

7.3 Dielectric liquid and component materials

The preferred dielectric liquid is mineral oil in accordance with IEC 60296. Other dielectric liquids such as silicon fluid to IEC 60836 and synthetic esters to IEC 61099 may be used by agreement between the manufacturer and the purchaser.

The materials used in the construction of the transformer shall be compatible with the dielectric liquid.

NOTE The use of liquids other than mineral oil may require that specific tests be performed to verify the operational characteristics of the protection system in this liquid.

7.4 Disconnection function

The manufacturer shall state if a three-phase or a two-phase disconnection is provided by the device for the three-phase transformers.

8 Information to be supplied by the customer

At the enquiry, to design the self-protection and disconnection device and to ensure its proper tripping, the following information shall be given:

- the type, value and duration of the fault currents (three-phase fault current and single-phase fault current);
- the characteristics of network protections.

9 Informations à fournir par le fabricant

Le fabricant doit fournir les références informatives du schéma de coordination pour le dispositif de protection-déconnexion haute tension.

Le schéma de coordination du dispositif de protection et de déconnexion avec les réseaux basse tension et haute tension doit être fourni par le constructeur.

10 Plaque signalétique

La plaque signalétique doit être conforme à l'Article 7 de la CEI 60076-1.

La plaque signalétique doit comporter les exigences énumérées en 7.1 de la CEI 60076-1, complétée avec les informations suivantes:

- le type de transformateur – transformateur auto-protégé;
- scellés hermétiquement ou type de conservation et de remplissage du liquide diélectrique;
- les références de la courbe caractéristique temps/courant (plage de courant concernée);
- courant de coupure maximal.

11 Essais

11.1 Liste et classification des essais (essais individuels de série, de type et spéciaux)

Les essais doivent être effectués selon la CEI 60076, excepté pour les essais modifiés et les essais supplémentaires indiqués ci-dessous.

11.2 Essais individuels de série

Les essais doivent être effectués conformément aux modalités décrites en 10.1.1 de la CEI 60076-1.

11.3 Essais de type

Les essais doivent être effectués conformément aux modalités décrites en 10.1.2 de la CEI 60076-1.

Les essais de type suivants doivent être effectués pour démontrer la conformité avec la présente norme:

- essai de décharges partielles (12.1);
- tension au choc de foudre basse tension (12.4.8);
- échauffement en surcharge (12.4.7);
- mise sous tension et courant d'appel (12.3);
- surcharge monophasée basse tension (12.4.4);
- court-circuit triphasé impédant basse tension (12.4.5);
- fuite de liquide diélectrique (12.4.3);
- court-circuit entre spires dans l'enroulement basse tension (12.4.2);
- court-circuit aux entrées de l'enroulement haute tension (12.4.6);
- continuité électrique entre couvercle et cuve (12.4.9);
- tenue à la surpression interne de la cuve (12.2).

9 Information to be supplied by the manufacturer

The manufacturer shall supply the coordination information diagram reference for the high-voltage protection-disconnection device.

The coordination diagram of the self-protection and disconnection device with the low-voltage and the high-voltage networks shall be supplied by the manufacturer.

10 Rating plate

The rating plate shall be in accordance with Clause 7 of IEC 60076-1.

The rating plate shall be marked with the requirements listed in 7.1 of IEC 60076-1 together with the following:

- type of transformer – self-protected transformer;
- hermetically sealed or liquid preservation and type of filling;
- details of the time/current curve (in the relevant current range);
- maximum breaking current.

11 Tests

11.1 List and classification of tests (routine, type and special tests)

The tests shall be carried out in accordance with the relevant part of IEC 60076, except for the modified and additional tests stated below.

11.2 Routine tests

The tests shall be as prescribed in 10.1.1 of IEC 60076-1.

11.3 Type tests

The tests shall be as prescribed in 10.1.2 of IEC 60076-1.

The following type tests shall be performed to demonstrate compliance with the standard:

- partial discharges (12.1);
- low-voltage lightning impulse voltage (12.4.8);
- overload temperature rise (12.4.7);
- switching and inrush current (12.3);
- low-voltage single phase overload (12.4.4);
- low-voltage three-phase impedance short circuit (12.4.5);
- dielectric liquid leak (12.4.3);
- low-voltage winding short-circuited turns (12.4.2);
- high-voltage winding short-circuited winding leads (12.4.6);
- cover-tank electrical earth continuity (12.4.9);
- tank overpressure (12.2).

Les essais se rapportant au dispositif de protection et de déconnexion étant destructifs, il peut être utile de tester jusqu'à cinq transformateurs. Le Tableau 1 donne l'ordre des essais réalisés sur les cinq prototypes (A, B, C, D, E).

Tableau 1 – Ordre des essais réalisés sur les prototypes A, B, C, D, E

Transformateur soumis à l'essai	A	B	C	D	E
Résistance d'enroulement	×	×			
Impédance de court-circuit et pertes dues à la charge	×	×	×		
Pertes et courant à vide	×	×	×		
Rapport de tension et indice de couplage	×	×	×		
Tenue aux courants de court-circuit (11.4)		×			
Échauffement à la puissance assignée	×	×			
Échauffement avec surcharge (12.4.7)	×	×			
Tension appliquée (HT)	×	×			
Tension appliquée (BT)	×	×			
Tension induite	×	×			
Tension aux chocs de foudre HT	×	×			
Tension aux chocs de foudre basse tension si applicable (12.4.8)	×	×			
Décharges partielles (12.1)	×	×			
Niveau de bruit	×				
Mises sous tension et courant d'appel (12.3)	×				
Surcharge monophasée basse tension (12.4.4)	×				
Court-circuit triphasé impédant basse tension (12.4.5)			×		
Fuite de liquide diélectrique (12.4.3)		×			
Court-circuit entre spires dans l'enroulement basse tension (12.4.2)				×	
Court-circuit aux entrées de l'enroulement haute tension (12.4.6)					×
Continuité électrique entre couvercle et cuve (12.4.9)	×				
Tenue à la surpression interne de la cuve (12.2)					×
Décuvage de la partie active et analyse du déroulement de la déconnexion	×	×	×	×	×

11.4 Essai de court-circuit avec le dispositif de protection et de déconnexion déconnecté ou shunté

Les composants du dispositif de protection et de déconnexion sont sensibles aux fortes surintensités; ils doivent être inhibés pendant la réalisation de l'essai; essai réalisé selon la CEI 60076-5, destiné à démontrer l'aptitude à supporter les effets dynamiques d'un court-circuit.

NOTE Il convient que le transformateur résiste à un essai de court-circuit en raison de l'effet dynamique du courant de défaut avant que le système de protection basse tension fonctionne.

Since the tests referring to the self-protection and disconnection device are destructive, it should be useful to test up to five transformers. Table 1 gives the order for tests carried out on five prototypes (A, B, C, D, E).

Table 1 – Order for tests carried out on prototypes A, B, C, D, E

Transformer tested	A	B	C	D	E
Winding resistance	×	×			
Short-circuit impedance and load loss	×	×	×		
No-load loss and no-load current	×	×	×		
Voltage ratio and vector group	×	×	×		
Short-circuit withstand (11.4)		×			
Temperature rise at rated power	×	×			
Overload temperature rise (12.4.7)	×	×			
Separate source a.c. withstand voltage (high voltage)	×	×			
Separate source a.c. withstand voltage (low voltage)	×	×			
Induced a.c. withstand voltage	×	×			
High-voltage lightning impulse voltage	×	×			
Low-voltage lightning impulse voltage if applicable (12.4.8)	×	×			
Partial discharge (12.1)	×	×			
Sound level	×				
Switching and inrush current (12.3)	×				
Low-voltage single-phase overload (12.4.4)	×				
Low-voltage three-phase impedance short circuit (12.4.5)			×		
Dielectric liquid leak (12.4.3)		×			
Low-voltage winding short-circuited turns (12.4.2)				×	
High-voltage winding short-circuited winding lead (12.4.6)					×
Cover-tank electrical earth continuity (12.4.9)	×				
Tank overpressure (12.2)					×
Untanking active part and analysis of the disconnecting development	×	×	×	×	×

11.4 Short-circuit test with the self-protection and disconnection device disconnected or bypassed

The components of the self-protection and disconnection device are sensitive to high overcurrents; they shall be inhibited during the performance of the test according to IEC 60076-5 intended to demonstrate the ability to withstand the dynamic effects of short circuit.

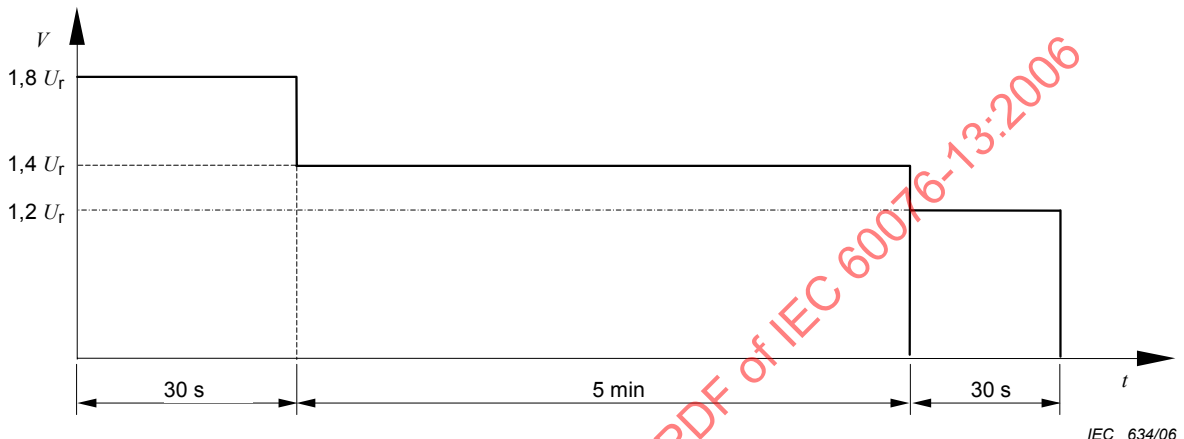
NOTE The transformer should withstand a short-circuit test because of the dynamic effect of the fault current before the operation of the low-voltage side protection system.

12 Procédure d'essai

12.1 Mesures des décharges partielles

L'essai est effectué selon la CEI 60270.

Un système d'alimentation triphasée doit être utilisé pour l'essai des transformateurs triphasés. Il convient de prendre des précautions particulières dans le cas de traversées de type extérieur et dans les connecteurs à contraintes réparties.



Niveaux d'acceptation: 50 pC à $1,2 U_r$; 100 pC à $1,4 U_r$ avec U_r = tension assignée

Figure 1 – Cycle de mesure des décharges partielles

12.2 Essai de pression du transformateur

12.2.1 But de l'essai

Le but de l'essai est de vérifier que le transformateur peut résister à une augmentation de pression interne, sans conséquences externes, jusqu'au fonctionnement de la fonction de protection et de déconnexion et après celui-ci. Le fabricant doit indiquer le niveau garanti (valeur de ΔP) de résistance à la pression interne de la cuve.

La valeur minimale admissible de la pression de résistance interne est soumise à un accord entre le fabricant et l'acheteur. Si le transformateur est équipé d'un dispositif de détection de pression, sa valeur de déclenchement doit être fixée en conséquence.

12.2.2 Méthodes d'essai

L'essai consiste à soumettre le transformateur hors tension à une surpression augmentant progressivement en 1 min environ de 0 à la valeur de ΔP et à maintenir cette valeur pendant 10 min.

La détection de fuite est effectuée par une inspection visuelle, tout en maintenant pendant 10 min la pression initiale sur le manomètre et en aspergeant la cuve avec un produit révélateur, détecteur de fuites, si nécessaire.

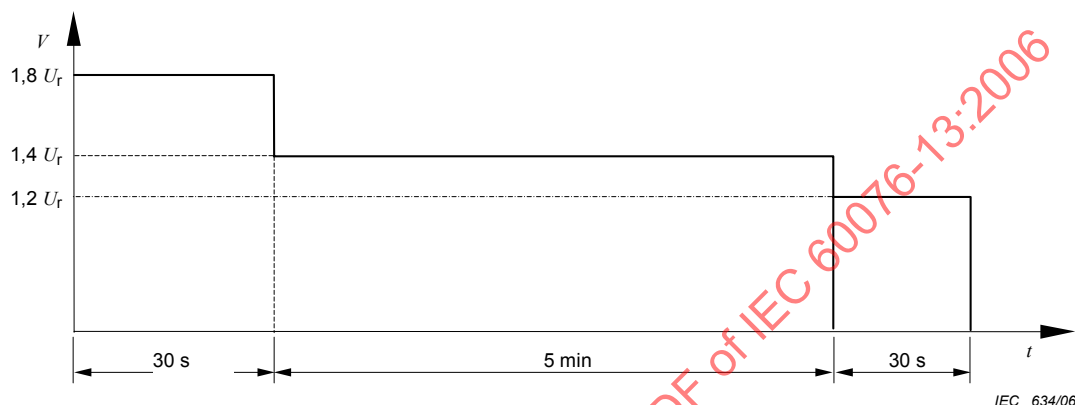
Si le transformateur est équipé d'un dispositif de détection de pression, le seuil de déclenchement du système réagissant avec la surpression doit être établi.

12 Test procedure

12.1 Measurement of partial discharges

The test is carried out in accordance with IEC 60270.

A three-phase supply system shall be used for the test of three-phase transformers. It should be necessary to take particular precautions in the case of open-type bushings and stress-graded terminations.



Acceptance levels: 50 pC at $1,2 U_r$; 100 pC at $1,4 U_r$ with U_r = rated voltage.

Figure 1 – Partial discharge measurement cycle

12.2 Transformer pressure test

12.2.1 Purpose of the test

The purpose of the test is to verify that the transformer is able to withstand an increase in internal pressure without external effects until and after the self-protection and disconnection function has operated. The manufacturer shall state the maximum rated internal pressure withstand for the tank (ΔP value).

The lowest admissible value of the internal withstand pressure is subject to agreement between the manufacturer and the purchaser. If the transformer is fitted with a pressure-detecting device, its tripping value shall be set up accordingly.

12.2.2 Test methods

The test consists in submitting the de-energized transformer to an overpressure growing progressively in about 1 min from 0 to ΔP value and maintaining this value for 10 min.

Leak detection is carried out by visual inspection while maintaining for 10 min the initial pressure on the manometer and whitewashing the tank with a tracer if necessary.

If the transformer is fitted with a pressure-detecting device, the tripping threshold of the system reacting with the overpressure shall be established.

12.2.3 Résultats de l'essai

Aucune fuite d'huile ne doit être détectée. Une déformation permanente de la cuve et des ailettes de refroidissement est autorisée.

12.3 Essais de mises sous tension

12.3.1 But de l'essai

Le but de l'essai est de vérifier que le dispositif de protection et de déconnexion ne fonctionne pas sous l'effet du courant d'appel lorsque le transformateur est mis sous tension assignée. Il convient que la puissance de court circuit de la source d'essai soit au moins égale à 50 fois la puissance assignée du transformateur essayé.

12.3.2 Méthodes d'essai

Le transformateur est alimenté à une tension d'essai égale à la tension assignée (tolérance $^{+5}_0$ %) pendant $1\text{ s} \pm 20\text{ ms}$. Ce cycle est répété 20 fois. Les cycles sont espacés entre eux d'au moins 10 s.

D'autres cycles et d'autres tolérances concernant la tension d'essai et la durée d'essai sont soumis à un accord entre le fabricant et l'acheteur.

12.3.3 Critère d'acceptation

Aucune déconnexion ne doit se produire.

12.4 Essais de comportement du dispositif de protection et déconnexion

12.4.1 Articles communs applicables à ces essais

12.4.1.1 Caractéristiques du circuit d'essai

La valeur de la puissance de court-circuit doit être conforme à la CEI 60076-5.

Les caractéristiques ci-dessous doivent être précisées par l'acheteur.

- Le facteur de puissance de la source d'essai doit être inférieur à 0,15.
- La borne neutre haute tension (HT) du réseau d'alimentation doit être mise à la terre via une impédance limitant le courant à la terre à certaines valeurs. Ces valeurs dépendent du type de système de mise à la terre du neutre du réseau auquel est destiné le transformateur et les valeurs préférentielles de ce courant sont
 - pour mise à la terre directe: la valeur de court-circuit triphasé;
 - pour mise à la terre isolée: jusqu'à 100 A;
 - pour mise à la terre par résistance: 100 A à 3 000 A;
 - pour mise à la terre par impédance: 10 A à 300 A.

NOTE En cas de difficultés liées aux moyens d'essais, il convient de trouver un accord entre l'acheteur, le fabricant et le laboratoire pour le choix du courant à retenir.

12.4.1.2 Préparation du transformateur

Le changeur de prise, s'il existe, est à positionner sur la prise correspondant à la tension assignée. Le neutre basse tension et la borne de mise à la terre du transformateur sont mis à la terre.

Le transformateur est placé sur un support isolé, de telle façon que le courant de défaut entre la cuve et la terre puisse être mesuré.

12.2.3 Test results

No oil leak shall be detected. A permanent deformation of tank and cooling fins is allowed.

12.3 Switching cycle tests

12.3.1 Purpose of the test

The purpose of the test is to verify that the self-protection and disconnection device does not operate due to the inrush current when the transformer is switched on at the rated voltage. The short-circuit power should be at least 50 times the rated power of the transformer under the test.

12.3.2 Test methods

The transformer is energized at a test voltage equal to the rated voltage (tolerance $^{+5}_0\%$) for $1\text{ s} \pm 20\text{ ms}$. The cycle is repeated 20 times. Each cycle of the energizing period is spaced out by at least 10 s.

Other cycles and tolerances for test voltage and duration are subject to agreement between the manufacturer and the purchaser.

12.3.3 Acceptance criterion

Disconnection shall not occur.

12.4 Behaviour test of self-protection and disconnection device

12.4.1 Common clauses applicable for these tests

12.4.1.1 Test-circuit characteristics

The value of the short-circuit power shall be in accordance with IEC 60076-5.

The purchaser shall define the characteristics given below.

- The power factor of the test source: less than 0,15.
- The high-voltage neutral terminal of the supply network shall be earthed through an impedance that limits the current to the earth to certain values. These values depend on the kind of system neutral earthing and the preferred values are
 - for solid earthing: the three-phase short-circuit value;
 - for isolated earthing: up to 100 A;
 - for resistance earthing: 100 A to 3 000 A;
 - for impedance earthing: 10 A to 300 A.

NOTE In case of difficulties in setting the performance of the test laboratory, an agreement among the purchaser, the manufacturer and the laboratory should be found to adjust the current.

12.4.1.2 Transformer preparation

The tap changer, if fitted, is positioned on the tap that corresponds to the rated voltage. The low-voltage neutral and the transformer earthing terminal are earthed.

The transformer is placed on an isolating support, so that the fault current between the tank and the earth can be measured.

12.4.1.3 Durée des essais et mesure

La tension d'alimentation doit rester appliquée pendant 15 min après le fonctionnement du dispositif de protection et de déconnexion.

Mesures à effectuer lors de chaque essai:

- courants efficaces de ligne au primaire;
- tensions efficaces phase primaire-terre;
- courant efficace de mise à la terre de la cuve;
- courant efficace de mise à la terre du réseau haute tension;
- courant efficace de ligne au secondaire;
- courant efficace de neutre;
- tension efficace entre phase et neutre au secondaire;
- pression de la cuve du transformateur (pour les essais produisant une éventuelle montée en pression de la cuve);
- les valeurs efficaces peuvent être définies à partir d'un oscillogramme analogique ou des enregistrements numériques.

NOTE Une caméra vidéo peut être utilisée pendant les essais pour aider les analyses ultérieures.

12.4.1.4 Critères d'acceptation

Les courants de lignes haute tension ne doivent pas dépasser la valeur donnée par le fabricant et doivent être annulés par le dispositif de protection et de déconnexion.

Le fonctionnement du système de protection et de déconnexion ne doit pas provoquer de surtension sur le réseau haute ou basse tension excédant les valeurs maximales correspondant au niveau d'isolement du réseau.

Pendant la durée de l'essai, y compris la période de 15 min suivant l'élimination des trois courants de ligne HT, aucun événement ne doit se produire comme par exemple un incendie, des projections de matériau, une fuite de gaz ou de liquide diélectrique, la propagation d'un arc électrique de l'intérieur vers l'extérieur de la cuve.

Une vérification, montrant que le système de protection et de déconnexion a bien fonctionné, doit être effectuée après décufrage de la partie active.

Si une déconnexion des trois phases est exigée, celle-ci doit être vérifiée par une mesure phase par phase.

Ces critères d'acceptation sont applicables à tous les essais suivants. De plus, des critères particuliers sont donnés dans les articles concernés.

12.4.2 Transformateur avec un court-circuit entre spires basse tension

12.4.2.1 But de l'essai

L'essai est réalisé afin de vérifier le comportement du transformateur dans le cas d'un court-circuit entre les spires d'un enroulement basse tension.

12.4.2.2 Préparation du transformateur

Un transformateur comprenant une spire en court-circuit dans un enroulement basse tension doit être fabriqué spécialement pour effectuer cet essai. La section de passage du courant de court circuit doit être suffisante pour ne pas isoler le court-circuit pendant l'essai.

12.4.1.3 Test duration and measurement

The supply voltage shall remain connected for 15 min after the self-protection and disconnection device has operated.

Measurements to be taken during each test:

- r.m.s. primary line currents;
- r.m.s. primary phase-to-ground voltages;
- r.m.s. tank earthing current;
- r.m.s. high-voltage network earthing current;
- r.m.s. secondary line current;
- r.m.s. neutral current;
- r.m.s. secondary phase-to-neutral voltage;
- transformer tank pressure (for tests with possible pressure increasing);
- r.m.s. values can be defined from an analogue oscillogram or digital recordings.

NOTE A video camera may be used during the tests to aid subsequent analysis.

12.4.1.4 Acceptance criteria

The high-voltage line currents shall not exceed the value given by manufacturer and shall be cleared by the self-protection and disconnection device.

The operation of the protection-disconnection function shall not cause overvoltages on the high-voltage network or on the low-voltage network exceeding the maximum values for the insulation level of the network.

During the performance time of the test including the 15-min period that follows the elimination of the three high-voltage line currents, no event, such as fire, material projections, dielectric liquid or gas leak, or propagation of an electric arc from inside to outside the tank, shall take place.

After untanking the active part, it shall be checked that the self-protection and disconnection function has operated properly.

If the disconnection of the three phases is required, it shall be checked phase by phase by measurement.

These criteria are applicable to all following tests. In addition, special criteria are given in the relevant clauses.

12.4.2 Transformer with short circuit between the low-voltage turns

12.4.2.1 Purpose of the test

This test is performed to check the behaviour of the transformer in case of short circuit between low-voltage turns.

12.4.2.2 Transformer preparation

A transformer comprising one turn in short circuit in one low-voltage winding shall be manufactured specially to carry out this test. The flowing section of the short-circuit current shall be sufficient not to insulate the short circuit during the test.

En cas de difficultés avec les conditions ci-dessus, il convient d'augmenter le nombre de spires en court-circuit pour pouvoir effectuer l'essai. Le nombre maximal de spires doit être néanmoins limité à cinq.

12.4.2.3 Méthodes particulières d'essai

Pendant l'essai, le transformateur doit alimenter une charge triphasée inductive correspondant à sa puissance assignée.

12.4.2.4 Critères d'acceptation

Le Paragraphe 12.4.1.4 est applicable.

12.4.3 Transformateur avec fuite de liquide diélectrique

12.4.3.1 But de l'essai

L'essai consiste à vérifier qu'une fuite, dans un transformateur en service, ne peut aboutir à une explosion ou à un incendie.

12.4.3.2 Méthodes particulières d'essai

Le transformateur est connecté à une charge triphasée correspondant à la puissance assignée et la tension assignée.

Le transformateur est équipé d'une vanne de vidange calibrée de façon à faire décroître le volume de diélectrique de 50 % en 1 h environ, dans le cas où la déconnexion ne survient pas avant.

12.4.3.3 Critères d'acceptation

Le Paragraphe 12.4.1.4 est applicable.

12.4.4 Transformateur avec surcharge monophasée basse tension

12.4.4.1 But de l'essai

L'essai consiste à créer un échauffement des enroulements, jusqu'à leur détérioration, avec des courants de circulation initiaux insuffisants pour déclencher immédiatement le dispositif de protection et de déconnexion.

12.4.4.2 Méthodes particulières d'essai

Une charge inductive est placée du côté basse tension, entre une phase et le neutre. Cette charge est telle que le courant initial basse tension est compris entre 3 et 4 fois le courant assigné basse tension du transformateur.

NOTE Le courant de surcharge a été choisi de manière à endommager l'enroulement en un temps raisonnable.

12.4.4.3 Critères d'acceptation

Le Paragraphe 12.4.1.4 est applicable.