

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Power transformers –
Part 15: Gas-filled power transformers**

**Transformateurs de puissance –
Partie 15: Transformateurs de puissance à isolation gazeuse**

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-15:2008



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Power transformers –
Part 15: Gas-filled power transformers**

**Transformateurs de puissance –
Partie 15: Transformateurs de puissance à isolation gazeuse**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

T

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Definitions	7
4 Service conditions	8
5 Tappings	8
6 Connections	8
7 Ability to withstand short circuit	8
8 Rating	8
8.1 General.....	8
8.2 Rated power.....	8
8.3 Loading cycle	9
8.4 Preferred values of rated power	9
8.5 Operation at higher than rated voltage and/or at disturbed frequency	9
8.6 Loading beyond nameplate rating.....	9
9 Rating plate.....	9
9.1 Information to be given in all cases	9
9.2 Additional information to be given when applicable.....	10
10 Identification according to cooling method.....	11
11 Temperature-rise limits.....	11
11.1 Classification and insulation system temperature	11
11.2 Normal temperature-rise limits.....	12
11.3 Reduced temperature-rises for transformers designed for high cooling air temperatures or special air cooling conditions	12
11.4 High altitude temperature-rise correction	13
11.5 Reduced temperature-rise for transformers designed for high cooling water temperatures	13
11.6 Temperature-rise during specified load cycle.....	13
12 Insulation levels.....	13
13 Requirements for gases and gas tightness	13
13.1 Requirements for gases	13
13.2 Gas tightness	14
14 General requirements for tests	14
15 Measurement of winding resistance (routine test)	14
16 Measurement of voltage ratio and check of phase displacement (routine test)	15
17 Measurement of short-circuit impedance and load loss (routine test)	15
18 Measurement of no-load loss and current (routine test)	15
19 Tests on on-load tap-changers (routine test)	15
20 Measurement of zero-sequence impedance(s) on three-phase transformers (special test)	15
21 Measurement of the harmonics of the no-load current (special test)	15
22 Separate-source AC withstand voltage test (routine test).....	15
23 Short-duration induced AC voltage test (ACSD) (routine or special test).....	15

24	Long-duration induced AC voltage test with partial discharge measurement (ACLD) (routine or special test).....	15
25	Lightning impulse test (LI) (routine or type test).....	16
26	Test with lightning impulse chopped on the tail (LIC) (special test).....	16
27	Switching impulse test (SI) (routine test for the transformers having highest voltage higher than 170 kV).....	16
28	Temperature-rise test (type test).....	16
28.1	General.....	16
28.2	Corrections.....	16
29	Measurement of sound level (special test).....	16
29.1	General.....	16
29.2	Prescribed contour.....	16
30	Short-circuit test (special test).....	17
31	Tightness tests (routine test).....	17
32	Pressure tests for tanks (routine test).....	18
33	Other special tests.....	18
34	Tolerances.....	18
35	Earthing terminal.....	18
36	Information required with enquiry and order.....	18
	Annex A (informative) Information required with enquiry and order.....	19
	Annex B (informative) Transient loading – Mathematical model.....	22
	Bibliography.....	24
	Figure B.1 – Temperature distribution model.....	22
	Table 1 – Classification and insulation system temperature.....	12
	Table 2 – Winding temperature-rise limits.....	12
	Table 3 – Maximum permissible values of the average temperature of each winding.....	17

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –**Part 15: Gas-filled power 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 60076-15 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
14/567/FDIS	14/571/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the 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.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-15:2008

Withdrawn

POWER TRANSFORMERS –

Part 15: Gas-filled power transformers

1 Scope

This standard applies to gas-filled power transformers (including auto-transformers). The standard applies to all construction technologies.

This standard does not apply to

- single-phase transformers with rated power less than 1 kVA and three-phase transformers less than 5 kVA;
- dry-type transformers (see IEC 60076-11);
- instrument transformers (see IEC 60044);
- starting transformers;
- testing transformers;
- traction transformers mounted on rolling stock;
- welding transformers.

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.

NOTE This standard can be applicable to the gas parts of a transformer in which an insulating gas is used with an insulating liquid.

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, *International Electrotechnical Vocabulary*

IEC 60076-1:1993, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60076-2:1993, *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, *Power transformers – Part 5: Ability to withstand short circuit*

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

IEC 60085, *Electrical insulation – Thermal classification and designation*

IEC 60376, *Specification of technical grade sulfur hexafluoride SF₆ for use in electrical equipment*

IEC 60480, *Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment and specification for its re-use*

IEC 62271-1, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications*

ISO 9001:2000, *Quality management systems – Requirements*

3 Definitions

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

3.1

gas-filled transformer

a transformer of which the magnetic circuit and windings are placed in an enclosure filled with an insulating gas. Generally sulfur hexafluoride (SF₆) gas is used, and sometimes this transformer is called a gas-insulated transformer.

3.2

rated gas pressure

gas pressure (gauge pressure) at 20 °C designed for use in a gas-filled transformer

3.3

guaranteed minimum gas pressure

the minimum gas pressure (gauge pressure) at 20 °C, which is able to guarantee the insulation of a gas-filled transformer

NOTE A transformer of which the magnetic circuit and windings are placed in an enclosure or a vessel filled with an insulating liquid such as perfluorocarbon, natural ester, synthetic ester, silicon oil and vegetable oil should be considered a liquid immersed type transformer.

3.4

design pressure of tanks

relative pressure used to determine the design of the tanks

NOTE It is at least equal to the maximum pressure in the tank at the highest temperature that the gas can reach under specified maximum service condition.

3.5 Definitions, symbols and units relating to gas and vacuum tightness

3.5.1

absolute leakage rate

F

the amount of gas escaped by time unit at rated filling pressure (or density), expressed in Pa m³/s

3.5.2

permissible leakage rate

F_p

the maximum permissible absolute leakage rate of gas at rated filling pressure (or density) specified by the manufacturer, expressed in Pa m³/s

3.5.3

relative leakage rate

F_{rel}

the absolute leakage rate related to the total amount of gas in the transformer at rated filling pressure (or density). It is expressed in percentage per year or per day.

4 Service conditions

The requirements in IEC 60076-1 apply. With regard to cooling reference, requirement of IEC 60076-2 apply.

5 Tappings

The requirements in IEC 60076-1 apply.

6 Connections

The requirements in IEC 60076-1 apply.

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 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, that the supply is at rated frequency and that the transformer is operating at rated gas pressure.

8.2 Rated power

The transformer shall have an assigned rated power for each winding which shall be marked on the rating plate. 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.

If different values of apparent power are assigned under different circumstances, for example, with different methods of cooling, the highest of these values is the rated power.

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 transformer shall be capable of carrying, in continuous service, the rated power (for a multi-winding transformer: the specified combination(s) of winding rated powers) under conditions listed in Clause 4 and without exceeding the temperature-rise limitations specified in Clause 11.

8.3 Loading cycle

If specified in the enquiry or the contract, the transformer may, in addition to its rated power for continuous loading, be assigned a temporary load cycle which it shall be capable of performing under conditions specified in Clause 11.

NOTE This option is to be used in particular to give a basis for design and guarantees concerning short-time emergency loading of large power transformers.

In the absence of such specification, guidance on loading of transformers complying with this part are subjected to agreement between the purchaser and the manufacturer.

The bushings, tap-changers and other auxiliary equipment shall be selected so as not to restrict the loading capability of the transformer.

8.4 Preferred values of rated power

The requirements in IEC 60076-1 apply.

8.5 Operation at higher than rated voltage and/or at disturbed frequency

The requirements in IEC 60076-1 apply.

8.6 Loading beyond nameplate rating

Unless specified in the enquiry or the contract, temporary loading beyond nameplate rating capability is subjected to agreement between the supplier and the purchaser.

NOTE The concept of IEC 60076-7 can be applicable to the consideration of the loading beyond nameplate rating capability of gas-filled transformers, but IEC 60076-7 cannot be applied directly because the cooling characteristics of oil and gas are different.

9 Rating plate

9.1 General

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).

9.2 Information to be given in all cases

- a) Kind of transformer (for example gas-filled transformer, gas-filled auto-transformer, etc.).
- b) Number and year of this standard.
- c) Manufacturer's name.
- d) Manufacturer's serial number.
- e) Year of manufacture.
- f) Number of phases.
- g) Rated power (in kVA or MVA). (For multi-winding transformers, the rated power of each winding should be given.)
- h) Rated frequency (in Hz).
- i) Rated voltages and tapping range (in V or kV).
- j) Rated currents (in A or kA).

- k) Connection symbol.
- l) Connection diagram.
- m) Short-circuit impedance, measured value in percentage. For multi-winding transformers, several impedances for different two-winding combinations are to be given with the respective reference power values. For transformers having a tapped winding, see also IEC 60076-1.
- n) Type of cooling. (If the transformer has several assigned cooling methods, the respective power values may be expressed as percentages of rated power, for example GNAN/GDAF 30/100 %.)
- o) Insulation system temperature for each winding (for multi-winding transformers, the insulation system temperature of each winding should be given).
- p) Temperature-rise limits of windings (only in the case of specifying limits other than the limits in Table 2).
- q) Kind of insulating gas.
- r) Rated gas pressure (in MPa-gauge).
- s) Guaranteed minimum gas pressure (in MPa-gauge).
- t) Vacuum withstand capability of the tank.
- u) Total mass.
- v) Mass of gas.
- w) Transportation mass (for transformers exceeding 5 t total mass).
- x) Untanking mass (for transformers exceeding 5 t total mass).
- y) Insulation levels (the rated withstand voltages for all windings shall appear on the rating plate. The principles of the standard notation are illustrated in IEC 60076-3.).
- aa) If the transformer has more than one set of ratings, depending upon different connections of windings which have been specially allowed for in the design, the additional ratings shall all be given on the rating plate, or separate rating plates shall be fitted for each set.

9.3 Additional information to be given when applicable

- a) For transformers having one or more windings with 'highest voltage for equipment' U_m equal to or above 3,6 kV:
 - short notation of insulation levels (withstand voltages) as described in Clause 3 of IEC 60076-3.
- b) For transformers having a tapped winding, particulars about the tappings are as follows:
 - for transformers having a tapping range not exceeding ± 5 %: tapping voltages on the tapped winding for all tappings. This applies in particular to distribution transformers;
 - for transformers having a tapping range exceeding ± 5 %: a table stating tapping voltage, tapping current and tapping power for all tappings. In addition the short-circuit impedance values for the principal tapping and at least the extreme tappings shall be given, preferably in ohms per phase referred to a specific winding.
- c) Temperature rises of top gas and windings (if not normal values). When a transformer is specified for installation at high altitude, this shall be indicated, together with information on either the reduced temperature-rise figures valid under normal ambient conditions, or the reduced loading which will result in normal temperature-rise at the high altitude (standard transformer with normal cooling capacity).
- d) Connection diagram (in cases where the connection symbol will not give complete information regarding the internal connections). If the connections can be changed inside the transformer, this shall be indicated on a separate plate or with duplicate rating plates. The connection fitted at the works shall be indicated.

In addition to the main rating plate with the information listed above, the transformer shall also carry plates with identification and characteristics of auxiliary equipment according to

international standards for such components (bushings, tap-changer, current transformers, special cooling equipment).

10 Identification according to cooling method

Transformers shall be identified according to the cooling method employed. For gas-filled transformers, this identification is expressed by a four-letter code as described below.

First letter: internal cooling medium in contact with the winding:

G insulating gas;

Second letter: circulation mechanism for internal cooling medium:

N natural/thermosiphon flow through cooling equipment and in windings,

F forced circulation through cooling equipment, thermosiphon flow in windings;

D forced circulation through cooling equipment, directed from the cooling equipment into at least the main windings.

Third letter: external cooling medium:

A air;

W water.

Fourth letter: circulation mechanism for external cooling medium:

N natural convection;

F forced circulation (fans, air blowers, water pumps).

A transformer may be specified with alternative cooling methods. The specification and the rating plate shall then carry information about the power figures at which the transformer fulfils the temperature-rise limitations when these alternatives apply, see n) of Subclause 9.2. The alternatives are conventionally listed in rising order of cooling capacity.

EXAMPLE

GNAN/GDAF The transformer has cooling equipment with blowers and fans but is also specified with a reduced power-carrying under natural cooling.

NOTE The percentage of natural cooling capacity to forced cooling capacity of gas-filled transformers is smaller than that of oil-immersed transformers. It is not difficult generally in oil-immersed transformers to achieve ONAN capacity as 50 % of the OFAF or ODAF capacity. But in gas-filled transformers, it is sometimes difficult and not economical to achieve GNAN capacity as 50 % of the GDAF capacity. It is recommended for the purchaser to consult with the manufacturer about natural cooling capacity to forced cooling capacity.

11 Temperature-rise limits

11.1 Classification and insulation system temperature

Transformers are classified by the insulation systems shown in Table 1. The maximum temperature occurring in any part of the winding shall not exceed the insulation system temperature in Table 1 continuously.

An approximate value for practical purposes of hot-spot temperature can be calculated by using the concept of Annex B.

Components used as insulating material may be used separately or in combination providing that their temperature does not exceed continuously the values given for the appropriate insulation system temperature.

Table 1 – Classification and insulation system temperature

Insulation system (see note)	Insulation system temperature °C
Class 105	105
Class 120	120
Class 130	130
Class 155	155
Class 180	180
Class 200	200
Class 220	220
NOTE Temperature classifications are given in IEC 60085.	

11.2 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 28.

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.

In most of the gases, the temperature-rise limit of gas is higher than the temperature-rise limit of winding, so that the temperature-rise limit of gas is not necessary to be specified. If necessary, it is subjected to agreement between the supplier and the purchaser.

Table 2 – Winding temperature-rise limits

Insulation system (see note 1)	Average winding temperature-rise limits K (see note 2)
Class 105	60
Class 120	75
Class 130	80
Class 155	100
Class 180	125
Class 200	135
Class 220	150
NOTE 1 Temperature classifications are given in IEC 60085.	
NOTE 2 Temperature-rise measured in accordance with Clause 28.	

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

The requirements in IEC 60076-2 apply.

11.4 High altitude temperature-rise correction

Unless otherwise agreed 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 %;

forced-air-cooled transformers: 3 %.

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

Any temperature-rise correction in dependence on altitude shall be rounded to the nearest whole number of Kelvin.

The influence of differing ambient temperature or altitude on the air cooling of the tank is disregarded for the water-cooled transformers.

11.5 Reduced temperature-rise for transformers designed for high cooling water temperatures

The requirements in IEC 60076-2 apply.

11.6 Temperature rise during specified load cycle

If guarantees and/or a special test regarding a load cycle are to be specified, this shall involve the following parameters:

- the initial temperature condition of the transformer, either at ambient temperature or with steady-state temperature-rises corresponding to a specified fraction of rated current ('preload');
- the (constant) magnitude of the test current, expressed as a multiple of rated current, and its duration;
- the maximum permissible temperature-rise values for top gas and winding average (by resistance) at the termination of the test. This statement is optional. The test may be executed for information only, without any limits being agreed on beforehand;
- any special observations or measurements to be performed, for example direct hot-spot temperature measurements, thermal imaging of tank-wall heating, and possible limitations in relation to them.

For further recommendations and discussion regarding temperature rise during specified load cycle – particularly measurements and evaluation – temperature rise during specified load cycle is subjected to agreement between the supplier and the purchaser.

12 Insulation levels

The requirements in IEC 60076-3 apply.

13 Requirements for gases and gas tightness

13.1 Requirements for gases

The manufacturer shall specify the type and the required quantity, quality and density of the gas to be used in a gas-filled transformer.

For sulfur hexafluoride-filled transformers, new SF₆ in accordance with IEC 60376 and used SF₆ in accordance with IEC 60480 can be used.

The maximum allowable moisture content within gas-filled transformer filled with gas at rated gas pressure shall be such that the dew-point is not higher than –20 °C for a measurement at 20 °C. Adequate correction shall be made for measurement made at other temperatures. For the measurement and determination of the dew point, refer to IEC 60376 and IEC 60480.

NOTE In gas compartments which are separated from transformer winding, a dew point of –5 °C for measurement at 20 °C is acceptable.

13.2 Gas tightness

IEC 62271-1 gives general rules to the gas tightness of high-voltage switchgears. This rule can be applicable to the gas-filled transformers.

The tightness characteristic shall be consistent with a minimum maintenance and inspection philosophy. The tightness for gas is specified by the relative leakage rate F_{rel} .

For sulfur hexafluoride-filled transformers, the relative leakage rate of SF₆ shall not exceed 0,5 percent per year. For transformers filled with the mixture, consisting of SF₆ and other gases, the relative leakage rate of the mixture shall not exceed 0,5 percent per year.

14 General requirements for tests

New transformers shall be subjected to tests as specified below.

Tests shall be made at any ambient temperature between 10 °C and 40 °C. For water cooled transformer, tests shall be made at any water temperature not exceeding 25 °C.

Tests shall be made at the manufacturer's works, unless otherwise agreed between the supplier and the purchaser.

All external components and fittings that are likely to affect the performance of the transformer during the test shall be in place.

Tapped windings shall be connected on their principal tapping, unless the relevant test clause requires otherwise or 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. Dielectric tests shall be performed in guaranteed minimum gas pressure.

All measuring systems used for the tests shall have certified, traceable accuracy and be subjected to periodic calibration, according to the rules of 7.6 of ISO 9001.

NOTE Specific requirements on the accuracy and verification of the measuring systems are under consideration (see IEC 60076-8).

If test methods are not prescribed in this standard, or if tests other than those listed in this standard are specified in the contract, such test methods are subjected to agreement between the supplier and the purchaser.

15 Measurement of winding resistance (routine test)

The test described in IEC 60076-1 applies.

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

The test described in IEC 60076-1 applies.

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

The test described in IEC 60076-1 applies.

The reference temperature of the short-circuit impedance and load loss shall be

- 75 °C for an insulation system temperature of 105 °C;
- average winding temperature-rise plus 20 °C for other average winding temperature-rise.

NOTE Reference temperature with an insulation system of class 200 or above shall be subjected to agreement between the supplier and the purchaser.

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 IEC 60076-1 applies.

19 Tests on on-load tap-changers (routine test)

The test described in IEC 60076-1 applies.

20 Measurement of zero-sequence impedance(s) on three-phase transformers (special test)

The test described in IEC 60076-1 applies.

21 Measurement of the harmonics of the no-load current (special test)

The test described in IEC 60076-1 applies.

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

The test described in IEC 60076-3 applies.

23 Short-duration induced AC voltage test (ACSD) (routine or special test)

The test described in IEC 60076-3 applies. Routine or special test is in accordance with IEC 60076-3.

24 Long-duration induced AC voltage test with partial discharge measurement (ACLD) (routine or special test)

The test described in IEC 60076-3 applies. Routine or special test is in accordance with IEC 60076-3.

25 Lightning impulse test (LI) (routine or type test)

The test described in IEC 60076-3 applies. Routine or type test is in accordance with IEC 60076-3.

26 Test with lightning impulse chopped on the tail (LIC) (special test)

The test described in IEC 60076-3 applies.

27 Switching impulse test (SI) (routine test for the transformers having highest voltage higher than 170 kV)

The test described in IEC 60076-3 applies.

28 Temperature-rise test (type test)

28.1 General

The relevant requirements in IEC 60076-2 apply with the translation of oil to gas.

28.2 Corrections

The gas temperature-rise above ambient during the test is multiplied by the following factors.

$$\left(\frac{\text{total losses}}{\text{test losses}} \right)^x$$

- $x = 0,8$ for distribution gas-filled transformers (natural cooling, maximum rated power 2 500 kVA);
- $x = 0,9$ for larger gas-filled transformers with GN.. cooling;
- $x = 1,0$ for larger gas-filled transformers with GF.. or GD.. cooling.

The average winding temperature-rise above gas temperature during the test is multiplied by the following factors.

$$\left(\frac{\text{rated current}}{\text{test current}} \right)^y$$

- $y = 1,6$ for gas-filled transformers with GN.. or GF.. cooling;
- $y = 2,0$ for gas-filled transformers with GD.. cooling.

29 Measurement of sound level (special test)

29.1 General

The relevant requirements in IEC 60076-10 apply.

29.2 Prescribed contour

For measurement made with forced air cooling and forced gas cooling auxiliaries (if any) out of service, the prescribed contour shall be spaced 0,3 m away from the principal radiating surface.

For measurement made with forced air cooling or forced gas cooling auxiliaries in service, the prescribed contour shall be spaced 2 m away from the principal radiating surface.

30 Short-circuit test (special test)

The relevant requirements in IEC 60076-5 apply.

The average temperature of each winding after loading with a symmetrical short-circuit current I of a value and duration as specified in IEC 60076-5, respectively, shall not exceed the maximum value stated in Table 3 at any tapping position.

Table 3 – Maximum permissible values of the average temperature of each winding

Insulation system	Maximum permissible value of temperature °C	
	Copper winding	Aluminum winding
Class 105	180	180
Class 120	250	200
Class 130	350	200
Class 155	350	200
Class 180	350	200
Class 200	350	200
Class 220	350	200
NOTE In case of windings made of high tensile strength aluminum alloys, higher maximum values of temperature, but not exceeding those relevant to copper, may be allowed by agreement between the manufacturer and the purchaser.		

31 Tightness tests (routine test)

IEC 62271-1 gives a general test method of the gas tightness of high-voltage switchgears. This method can be applicable to the gas-filled transformers.

The purpose of the tightness tests is to demonstrate that the absolute leakage rate F does not exceed the specified value of the permissible leakage rate F_p .

Where possible, the tests should be performed at normal ambient temperature on a complete system filled at rated gas pressure. If this is not practical, the tests may be performed on parts, components or sub-assemblies. In such cases, the leakage rate of the total system shall be determined by summation of the component leakage rates. The possible leakage between sub-assemblies of different pressures shall also be taken into account.

In general, only cumulative leakage measurements allow calculation of leakage rates. Due to comparatively small leakage rates of these systems, pressure drop measurements are not applicable. Other methods such as halogen detectors may be used to measure the leakage rate. If the test object is filled with a test gas different from the gas used in service and/or at a test pressure different from the normal operating pressure, corrective factors agreed between manufacturer and purchaser shall be used for calculations.

The test report should include such information as

- a description of the object under test, including its internal volume and the nature of the filling gas;
- the pressures and temperatures recorded at the beginning and end of the test;
- an indication of the calibration of the meters used to detect leakage rates;
- the results of the measurements;
- if applicable, the test gas and the corrective factor to assess the results.

32 Pressure tests for tanks (routine test)

Pressure test shall be made on all tanks. The standard test pressure shall be k times the tank design pressure, where the k factor is

- 1,3 for welded steel and aluminium tanks;
- 2,0 for cast steel and aluminium tanks.

NOTE 1 Refer to IEC 62271-203.

NOTE 2 The k factor is applicable to tanks with both bolted and welded cover.

The test pressure measured by the pressure gauge shall be maintained for at least 1,0 min.

No rupture or permanent deformation should occur during the test.

NOTE 3 Attention is drawn to the safety issue during the test and water is recommended to be used for the test on the tank with cover.

NOTE 4 Attention is drawn to the need to comply with local regulation relevant to the pressure vessel.

33 Other special tests

Special tests other than those listed above are specified in the contract and the test methods are subjected to agreement between the supplier and the purchaser. The following tests are examples of such special tests.

- a) Determination of capacitances of windings-to-earth, and between windings.
- b) Determination of transient voltage transfer characteristics.
- c) Measurement of the power taken by the fan and gas blower motors.
- d) Measurement of insulation resistance to earth of the windings, and/or measurement of the dissipation factor ($\tan \delta$) of the insulation system capacitances. (These are reference values for comparison with later measurement in the field. No limitations for the values are given here.)

34 Tolerances

Tolerances shall be as specified in IEC 60076-1.

35 Earthing terminal

Transformers shall be fitted with an earthing terminal.

36 Information required with enquiry and order

The requirements in Annex A apply.

Annex A (informative)

Information required with enquiry and order

A.1 Rating and general data

A.1.1 Normal information

The following information shall be given in all cases:

- a) particulars of the specifications to which the transformer shall comply;
- b) kind of transformer, for example, separate winding transformer, auto-transformer or booster transformer;
- c) single or three-phase unit;
- d) number of phases in system;
- e) frequency;
- f) gas-filled, type of gas, whether SF₆ or others;
- g) indoor or outdoor type;
- h) type of cooling;
- i) rated power for each winding and, for tapping range exceeding $\pm 5\%$, the specified maximum current tapping, if applicable. If the transformer is specified with alternative methods of cooling, the respective lower power values are to be stated together with the rated power (which refers to the most efficient cooling);
- j) rated voltage for each winding;
- k) for a transformer with tapplings:
 - which winding is tapped, the number of tapplings, and the tapping range or tapping step;
 - whether 'off-circuit' or 'on-load' tap-changing is required;
 - if the tapping range is more than $\pm 5\%$, the type of voltage variation, and the location of the maximum current tapping, if applicable, see 5.4 of IEC 60076-1;
- l) highest voltage for equipment (U_m) for each winding (with respect to insulation, see IEC 60076-3);
- m) method of system earthing (for each winding);
- n) insulation level (see IEC 60076-3), for each winding;
- o) connection symbol and neutral terminals, if required for any winding;
- p) any peculiarities of installation, assembly, transport and handling. Restrictions on dimensions and mass;
- q) details of auxiliary supply voltage (for fans and gas blowers, tap-changer, alarms, etc.);
- r) fittings required and an indication of the side from which meters, rating plates, etc., shall be legible;
- s) for multi-winding transformers, required power-loading combinations, stating, when necessary, the active and reactive outputs separately, especially in the case of multi-winding auto-transformers;
- t) vacuum withstand of the transformer tank;
- u) local regulation relevant to pressure vessel.

A.1.2 Special information

The following additional information may need to be given:

- a) if a lightning impulse voltage test is required, whether or not the test is to include chopped waves (see IEC 60076-3);
- b) whether a stabilizing winding is required and, if so, the method of earthing;
- c) short-circuit impedance, or impedance range (see Annex C of IEC 60076-1). For multi-winding transformers, any impedances that are specified for particular pairs of windings (together with relevant reference ratings if percentage values are given);
- d) tolerances on voltage ratios and short-circuit impedances as left to agreement in Table 1 of IEC 60076-1, or deviating from values given in the table;
- e) whether a generator transformer is to be connected to the generator directly or through switchgear, and whether it will be subjected to load rejection conditions;
- f) whether a transformer is to be connected directly or by a short length of overhead line to gas-insulated switchgear (GIS);
- g) altitude above sea-level, if in excess of 1 000 m;
- h) special ambient temperature conditions (see 1.2.1 b of IEC 60076-1), or restrictions to circulation of cooling air;
- i) expected seismic activity at the installation site which requires special consideration;
- j) special installation space restrictions which may influence the insulation clearances and terminal locations on the transformer;
- k) whether load current wave shape will be heavily distorted. Whether unbalanced three phase loading is anticipated. In both cases, details to be given;
- l) whether transformers will be subjected to frequent overcurrents, for example, furnace transformers and traction feeding transformers;
- m) details of intended regular cyclic overloading other than covered by 4.2 of IEC 60076-1 (to enable the rating of the transformer auxiliary equipment to be established);
- n) any other exceptional service conditions;
- o) if a transformer has alternative winding connections, how they should be changed, and which connection is required ex works;
- p) short-circuit characteristics of the connected systems (expressed as short-circuit power or current, or system impedance data) and possible limitations affecting the transformer design (see IEC 60076-5);
- q) whether sound-level measurement is to be carried out (see IEC 60076-10);
- r) any special tests not referred to above which may be required.

A.2 Parallel operation

If parallel operation with existing transformers is required, this shall be stated and the following information on the existing transformers shall be given:

- a) rated power;
- b) rated voltage ratio;
- c) voltage ratios corresponding to tapplings other than the principal tapping;
- d) load loss at rated current on the principal tapping, corrected to the appropriate reference temperature;

- e) short-circuit impedance on the principal tapping and at least on the extreme tapplings, if the tapping range of the tapped winding exceeds $\pm 5\%$;
- f) diagram of connections, or connection symbol, or both.

NOTE On multi-winding transformers, supplementary information will generally be required.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-15:2008

Withd 2012

Annex B (informative)

Transient loading – Mathematical model

B.1 General

The result from a temperature-rise test to steady state, according to Clause 28, may be used for an estimate of steady-state temperature-rise at a different loading, and also for an estimate of transient temperature-rise (if the thermal time-constants of the transformer are known).

For small and medium-size transformers such estimates are performed according to a conventional mathematical model which is described in Clause B.2 below.

The validity of this model for any particular large transformer is, however, not so certain as for transformers of lower rated power. When load ability analysis is to be performed, for example, concerning emergency loading above rated power, it is advisable to obtain relevant data for the actual transformer. One way is to conduct special testing with transient load in excess of rated power. Recommendations for a suitable test procedure and for the associated measurements and observations are presented in IEC 60076-2.

B.2 Mathematical model for temperature distribution in a winding of a gas-filled power transformer – The hot-spot concept

Cooling gas enters the bottom of the winding and is at 'bottom gas temperature'. It passes upwards through the winding and its temperature is assumed to rise linearly with the height. The winding losses are transferred from the winding to the gas all along the winding. This heat transfer requires a temperature drop between winding and surrounding gas which is assumed to be the same at all levels of height. In the graphic presentation, Figure B.1, the winding temperature and the gas temperature will therefore appear as two parallel lines.

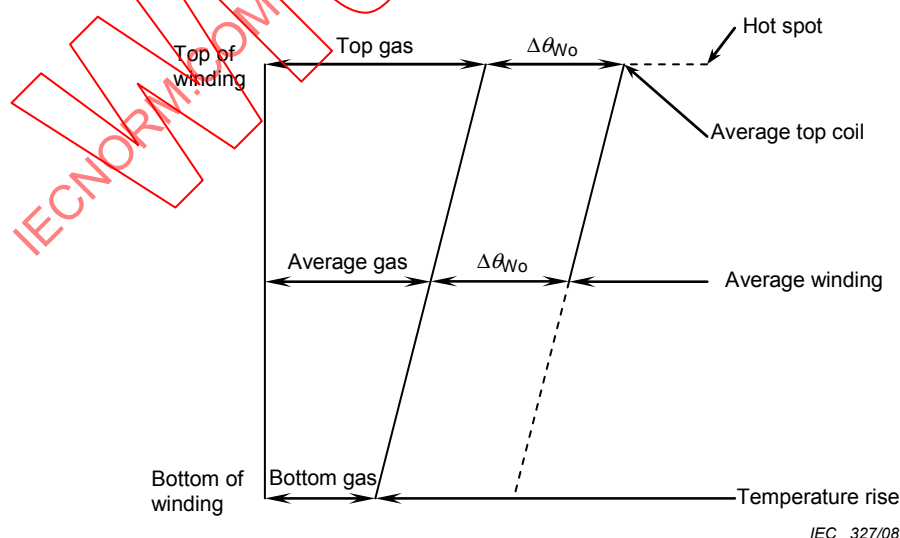


Figure B.1 – Temperature distribution model

The maximum temperature occurring in any part of the winding insulation system is called the 'hot-spot temperature'. This parameter is assumed to represent the thermal limitation of loading of the transformer. As a general rule other parts of the transformer, for example, bushings, current transformers or tap changers, should be selected so as not to represent any narrower restriction of the load ability of the transformer, see 4.2 of IEC 60076-1.

Towards the upper end of the winding there is usually a concentration of eddy current losses and the winding may be provided with extra electrical insulation which increases the thermal insulation. The actual local temperature difference between conductor and gas is therefore assumed to be higher by the 'hot-spot factor'. This factor is assumed to be from 1,1 in distribution transformers to 1,3 in medium size power transformers. In large transformers there is considerable variation depending on design, and the manufacturer should be consulted for information, unless actual measurements are carried out.

The steady-state temperature difference between winding and gas, average along the winding, is taken as the difference between [resistance-measured winding average temperature] and [average gas temperature], see 5.4 and 5.3 in IEC 60076-2 respectively with the translation of oil to gas.

The steady-state hot-spot temperature-rise above external cooling medium temperature (air or water) is the sum of [top gas temperature-rise above cooling medium temperature] and [hot-spot factor] × [average temperature difference winding-to-gas].

Bibliography

IEC 60044 (all parts), *Instrument transformers*

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

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

IEC 60076-4, *Power transformers – Part 4: Guide to the lightning impulse and switching impulse testing – Power transformers and reactors*

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

IEC 60076-8, *Power transformers – Part 8: Application guide*

IEC 60076-11, *Power transformers – Part 11: Dry-type transformers*

IEC/TS 60076-14, *Power transformers – Part 14: Design and application of liquid-immersed power transformers using high-temperature insulation materials*

IEC/TR 60943, *Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals*

IEC 62271-203: *High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV*

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-15:2008

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	28
1 Domaine d'application	30
2 Références normatives	30
3 Définitions	31
4 Conditions de service	32
5 Prises	32
6 Connexions	32
7 Tenue au court-circuit	32
8 Caractéristiques assignées	32
8.1 Généralités	32
8.2 Puissance assignée	32
8.3 Cycle de charge	33
8.4 Valeurs préférentielles de la puissance assignée	33
8.5 Fonctionnement à une tension supérieure à la tension assignée et/ou à fréquence perturbée	33
8.6 Charge au-delà des caractéristiques de la plaque signalétique	33
9 Plaque signalétique	33
9.1 Renseignements à fournir dans tous les cas	33
9.2 Informations supplémentaires à donner le cas échéant	34
10 Désignation suivant le mode de refroidissement	35
11 Limites d'échauffement	36
11.1 Classification et température du système d'isolation	36
11.2 Limites normales d'échauffement	36
11.3 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	37
11.4 Correction d'échauffement prévue pour des altitudes élevées	37
11.5 Réduction des échauffements dans le cas de transformateurs prévus pour une température élevée de l'eau de refroidissement	37
11.6 Échauffement au cours d'un cycle de charge spécifié	37
12 Niveaux d'isolement	38
13 Exigences relatives aux gaz et à l'étanchéité aux gaz	38
13.1 Exigences relatives aux gaz	38
13.2 Etanchéité au gaz	38
14 Exigences générales relatives aux essais	39
15 Mesure de la résistance des enroulements (essai individuel)	39
16 Mesure du rapport de tension et contrôle du déphasage (essai individuel)	39
17 Mesure de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge (essai individuel)	39
18 Mesures des pertes et du courant à vide (essai individuel)	40
19 Essais sur les changeurs de prises en charge (essai individuel)	40
20 Mesures d'impédance(s) homopolaire(s) sur des transformateurs triphasés (essai spécial)	40
21 Mesure des harmoniques du courant à vide (essai spécial)	40

22	Essai par tension appliquée à fréquence industrielle par source séparée (essai individuel).....	40
23	Essai de tenue par tension induite en fréquence industrielle de courte durée (FI CD) (essai individuel ou spécial)	40
24	Essai de tenue par tension induite en fréquence industrielle de longue durée avec mesure des décharges partielles (FI LD) (essai individuel ou spécial)	40
25	Essai au choc de foudre (CF) (essai individuel ou essai de type).....	40
26	Essai au choc de foudre coupé sur la queue (CFC) (essai spécial).....	40
27	Essai au choc de manœuvre (CM) (essai individuel pour les transformateurs ayant une tension maximale supérieure à 170 kV)	41
28	Essai d'échauffement (essai de type)	41
28.1	Généralités.....	41
28.2	Corrections.....	41
29	Mesure du niveau de bruit (essai spécial).....	41
29.1	Généralités.....	41
29.2	Contour prescrit	41
30	Essai de court-circuit (essai spécial)	42
31	Essais d'étanchéité (essai individuel)	42
32	Essais de pression des cuves (essai individuel).....	43
33	Autres essais spéciaux.....	43
34	Tolérances	43
35	Borne de terre	43
36	Renseignements à fournir à l'appel d'offres et à la commande.....	43
	Annexe A (informative) Renseignements à fournir à l'appel d'offres et à la commande	44
	Annexe B (informative) Charge transitoire – Modèle mathématique	47
	Bibliographie.....	49
	Figure B.1 – Modèle de distribution de température	47
	Tableau 1 – Classification et température du système d'isolation.....	36
	Tableau 2 – Limites d'échauffement des enroulements	37
	Tableau 3 – Valeurs maximales admissibles de la température moyenne de chaque enroulement.....	42

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 15: Transformateurs de puissance à isolation gazeuse

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 60076-15 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
14/567/FDIS	14/571/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

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

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60076-15:2008

Withdrawn

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 15: Transformateurs de puissance à isolation gazeuse

1 Domaine d'application

La présente norme s'applique aux transformateurs à isolation gazeuse (y compris les autotransformateurs). Cette norme s'applique à toutes les technologies de construction.

La présente norme ne s'applique pas

- aux transformateurs monophasés de puissance assignée inférieure à 1 kVA et aux transformateurs triphasés de puissance assignée inférieure à 5 kVA;
- aux transformateurs de type sec (voir CEI 60076-11);
- aux transformateurs de mesure (voir CEI 60044);
- aux transformateurs de démarrage;
- aux transformateurs d'essais;
- aux transformateurs de traction montés sur équipement roulant;
- aux transformateurs de soudure.

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 totalité ou en partie.

NOTE La présente norme peut être appliquée aux parties contenant du gaz d'un transformateur dans lequel un isolant gazeux est utilisé avec un liquide isolant.

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, *Vocabulaire Electrotechnique International*

CEI 60076-1:1993, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*

CEI 60076-2:1993, *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, *Transformateurs de puissance – Partie 5: Tenue au court-circuit*

CEI 60076-10, *Transformateurs de puissance – Partie 10: Détermination des niveaux de bruit*

CEI 60085, *Isolation électrique – Evaluation et désignation thermiques*

CEI 60376, *Spécifications de la qualité technique de l'hexafluorure de soufre (SF₆) pour utilisation dans les appareils électriques*

CEI 60480, *Lignes directrices relatives au contrôle et au traitement de l'hexafluorure de soufre (SF₆) prélevé sur le matériel électrique et spécification en vue de sa réutilisation*

CEI 62271-1, *Appareillage à haute tension – Partie 1: Spécifications communes*

ISO 9001:2000, *Systèmes de management de la qualité – Exigences* (disponible en anglais seulement)

3 Définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent. Les autres termes utilisés ont la même signification que dans la CEI 60076-1 ou la CEI 60050.

3.1

transformateur à isolation gazeuse

transformateur dont le circuit magnétique et les enroulements sont placés dans une enveloppe remplie d'un isolant gazeux. Généralement, le gaz hexafluorure de soufre (SF₆) est utilisé.

3.2

pression assignée de gaz

pression de gaz (pression manométrique) à 20 °C, destinée à être utilisée dans un transformateur à isolation gazeuse

3.3

pression de gaz minimale garantie

pression de gaz minimale (pression manométrique) à 20 °C, qui peut garantir l'isolation d'un transformateur à isolation gazeuse

NOTE Il convient qu'un transformateur dont le circuit magnétique et les enroulements sont placés dans une enveloppe ou un réservoir rempli(e) d'un liquide isolant tel que le perfluorocarbène, l'ester naturel, l'ester synthétique, l'huile silicone et l'huile végétale soit considéré comme un transformateur immergé dans un liquide.

3.4

pression de calcul des cuves

pression relative utilisée pour déterminer la conception des cuves

NOTE Elle est au moins égale à la pression maximale de la cuve à la température la plus élevée que le gaz peut atteindre dans les conditions de service maximales spécifiées.

3.5 Définitions, symboles et unités relatifs à l'étanchéité au gaz et au vide

3.5.1

taux de fuite absolu

F

quantité de gaz perdu par unité de temps, à pression de remplissage assignée (ou densité) exprimée en Pa m³/s

3.5.2

taux de fuite admissible

F_p

taux de fuite absolu admissible maximal de gaz, à pression de remplissage assignée (ou densité) spécifié par le constructeur, et exprimé en Pa m³/s

3.5.3

taux de fuite relatif

F_{rel}

taux de fuite absolu rapporté à la quantité totale de gaz du transformateur à la pression (ou densité) assignée de remplissage. Il s'exprime en pourcentage par an ou par jour.

4 Conditions de service

Les exigences de la CEI 60076-1 s'appliquent. En ce qui concerne le refroidissement, les exigences de la CEI 60076-2 s'appliquent.

5 Prises

Les exigences de la CEI 60076-1 s'appliquent.

6 Connexions

Les exigences de la CEI 60076-1 s'appliquent.

7 Tenue au court-circuit

Les transformateurs doivent satisfaire aux exigences de la CEI 60076-5. Si l'acheteur exige un essai pour démontrer la satisfaction à ces exigences, cela doit être indiqué dans le contrat.

8 Caractéristiques assignées

8.1 Généralités

Le constructeur doit attribuer des caractéristiques assignées au transformateur, qui doivent être marquées sur la plaque signalétique, voir Article 9. Ces caractéristiques assignées doivent être telles que le transformateur puisse fournir son courant assigné dans des conditions de charge constante, sans dépasser les limites d'échauffement spécifiées à l'Article 11, en supposant que la tension primaire appliquée est égale à la tension assignée, que l'alimentation est à la fréquence assignée et que le transformateur fonctionne à la pression assignée de gaz.

8.2 Puissance assignée

Il faut attribuer une puissance assignée à chaque enroulement du transformateur et marquer ces puissances sur la plaque signalétique. La puissance assignée correspond à une charge continue. Il s'agit d'une valeur de référence pour les garanties et les essais des pertes dues à la charge, des échauffements et de l'impédance de court-circuit.

Si des valeurs différentes de puissance apparente sont assignées dans certaines circonstances, par exemple avec différents modes de refroidissement, la plus haute de ces valeurs sera la valeur de la puissance assignée.

NOTE Un transformateur à deux enroulements n'a qu'une seule valeur de puissance assignée, identique pour les deux enroulements. Quand la tension assignée est appliquée à l'enroulement primaire du transformateur et que le courant assigné traverse les bornes de cet enroulement, le transformateur reçoit la puissance assignée correspondant à ces deux enroulements.

Le transformateur doit pouvoir transmettre, en service continu, la puissance assignée (pour un transformateur à plus de deux enroulements: la ou les combinaisons particulières de

puissance assignée d'enroulement) dans les conditions répertoriées à l'Article 4 et sans dépasser les limites d'échauffement spécifiées à l'Article 11.

8.3 Cycle de charge

Si cela est spécifié dans l'appel d'offres ou le contrat, on peut, en plus de sa puissance assignée en charge continue, assigner au transformateur un cycle de charge temporaire, qu'il doit pouvoir effectuer dans certaines conditions spécifiées à l'Article 11.

NOTE Cette option est à utiliser en particulier pour donner des critères de conception et des garanties pour les gros transformateurs de puissance, dans le cas de charge de secours de courte durée.

En l'absence de telles spécifications, un guide de charge de transformateurs respectant la présente partie est soumis à un accord entre l'acheteur et le constructeur.

Il faut choisir les traversées, changeurs de prises et autres équipements auxiliaires, de façon à ne pas restreindre la capacité de charge du transformateur.

8.4 Valeurs préférentielles de la puissance assignée

Les exigences de la CEI 60076-1 s'appliquent.

8.5 Fonctionnement à une tension supérieure à la tension assignée et/ou à fréquence perturbée

Les exigences de la CEI 60076-1 s'appliquent.

8.6 Charge au-delà des caractéristiques de la plaque signalétique

Sauf si cela est spécifié dans l'appel d'offres ou le contrat, une charge temporaire au-delà de la capacité assignée de la plaque signalétique doit faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur.

NOTE Le principe de la CEI 60076-7 peut être appliqué au transformateur à isolation gazeuse pour toute charge au-delà des caractéristiques assignées, mais la CEI 60076-7 ne peut être appliquée directement parce que l'huile minérale et le gaz ont des caractéristiques de refroidissement différentes.

9 Plaque signalétique

9.1 Généralités

Chaque transformateur doit être muni d'une plaque signalétique résistant aux intempéries, fixée à un emplacement visible et donnant les indications énumérées ci-dessous. Les inscriptions doivent être marquées de manière indélébile (c'est-à-dire gravées chimiquement, mécaniquement, poinçonnées ou réalisées par processus photo-chimique).

9.2 Renseignements à fournir dans tous les cas

- Type du transformateur (par exemple transformateur à isolation gazeuse, autotransformateur à isolation gazeuse, etc).
- Référence et année de la présente norme.
- Nom du constructeur.
- Numéro de série du constructeur.
- Année de fabrication.
- Nombre de phases.
- Puissance assignée (en kVA ou en MVA). (Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, il convient de donner la puissance assignée de chacun d'eux.)

- h) Fréquence assignée (en Hz).
- i) Tensions assignées et étendue de prises (en V ou kV).
- j) Courants assignés (en A ou kA).
- k) Symbole de couplage.
- l) Schéma de couplage.
- m) Impédance de court-circuit, valeur mesurée en pourcentage. Pour les transformateurs à plus de deux enroulements, plusieurs impédances correspondant à différentes combinaisons de deux enroulements doivent être données avec les valeurs de puissances de référence respectives. Pour les transformateurs avec un enroulement à prises, voir aussi la CEI 60076-1.
- n) Mode de refroidissement. (Si le transformateur a plusieurs modes assignés de refroidissement, les puissances correspondantes peuvent être exprimées en pourcentage de la puissance assignée, par exemple GNAN/GDAF 30/100 %.)
- o) Température du système d'isolation pour chaque enroulement (pour les transformateurs à plus de deux enroulements, il convient de donner la température du système d'isolation de chacun d'eux).
- p) Limites d'échauffement des enroulements (uniquement dans le cas de la spécification de limites différentes des limites du Tableau 2).
- q) Type d'isolant gazeux.
- r) Pression assignée de gaz (pression manométrique en MPa).
- s) Pression de gaz minimale garantie (pression manométrique en MPa).
- t) Résistance au vide de la cuve.
- u) Masse totale.
- v) Masse du gaz.
- w) Masse pour le transport (pour les transformateurs dont la masse totale dépasse 5 t).
- x) Masse à soulever pour décuver (pour les transformateurs dont la masse totale dépasse 5 t).
- y) Niveaux d'isolement (les tensions de tenue assignées pour tous les enroulements doivent apparaître sur la plaque signalétique. Les principes de la notation normalisée sont illustrés dans la CEI 60076-3.).
- aa) Si le transformateur a plus d'un ensemble de régimes assignés selon les différentes connexions d'enroulements qui ont été spécifiquement prévues à la construction, les régimes assignés supplémentaires doivent tous être indiqués sur la plaque signalétique, ou sur des plaques signalétiques différentes pour chaque ensemble.

9.3 Informations supplémentaires à donner le cas échéant

- a) Pour les transformateurs dont l'un au moins des enroulements est tel que sa « tension maximale admissible » U_m est supérieure ou égale à 3,6 kV:
 - notation abrégée des niveaux d'isolement (tensions de tenue), telle que décrite à l'Article 3 de la CEI 60076-3.
- b) Pour les transformateurs avec un enroulement à prises, les particularités des prises sont les suivantes:
 - pour les transformateurs dont l'étendue de prise n'excède pas ± 5 %: les tensions de prise pour toutes les prises de l'enroulement à prises. Cela s'applique en particulier aux transformateurs de distribution;
 - pour les transformateurs dont l'étendue de prise excède ± 5 %: un tableau donnant la tension, le courant et la puissance de prise pour toutes les prises. De plus, les impédances de court-circuit doivent être données pour la prise principale et les prises extrêmes au moins, de préférence en ohms par phase pour un enroulement spécifique.
- c) Echauffement du gaz au sommet et échauffement des enroulements (si ce ne sont pas des valeurs normales). Quand un transformateur est spécifié pour installation à haute

altitude, cela doit être indiqué simultanément avec les informations donnant soit les valeurs réduites d'échauffement admissibles dans les conditions ambiantes normales, soit la charge réduite qui résulterait d'un échauffement normal à haute altitude (transformateur standard avec capacité normale de refroidissement).

- d) Schéma de couplage (dans le cas où les symboles de couplage ne donnent pas d'indication complète en ce qui concerne les connexions intérieures). Si les connexions peuvent être changées à l'intérieur du transformateur, il faut l'indiquer sur une plaque séparée ou doubler les plaques signalétiques. On doit indiquer quelles sont les connexions qui ont été réalisées en usine.

En plus de la plaque signalétique principale, donnant les informations inscrites ci-dessus, le transformateur doit aussi être muni de plaques donnant l'identification et les caractéristiques des équipements auxiliaires, conformément aux normes internationales s'y rapportant (traversées, changeurs de prises, transformateurs de courant, équipement de refroidissement particulier).

10 Désignation suivant le mode de refroidissement

Les transformateurs doivent être désignés selon le mode de refroidissement utilisé. Pour les transformateurs à isolation gazeuse, cette désignation est réalisée par un code à quatre lettres défini ci-dessous.

Première lettre: fluide de refroidissement interne en contact avec l'enroulement:

G isolant gazeux;

Deuxième lettre: mode de circulation du fluide de refroidissement interne:

N circulation naturelle par thermosiphon à travers le système de refroidissement et les enroulements;

F circulation forcée à travers le système de refroidissement, circulation par thermosiphon dans les enroulements;

D circulation forcée à travers le système de refroidissement, et dirigée du système de refroidissement jusqu'aux enroulements principaux au moins.

Troisième lettre: fluide de refroidissement externe:

A air;

W eau (water).

Quatrième lettre: mode de circulation du fluide de refroidissement externe:

N convection naturelle;

F circulation forcée (ventilateurs, souffleries d'air, pompes à eau).

Un transformateur peut être spécifié avec des variantes de modes de refroidissement. La spécification et la plaque signalétique doivent alors comporter les informations sur les niveaux de puissance pour lesquels le transformateur respecte les limitations d'échauffement lorsque chaque variante de refroidissement est utilisée, voir n) du Paragraphe 9.2. Les variantes sont, par convention, énumérées par ordre croissant de capacité de refroidissement.

EXEMPLE

GNAN/GDAF. Le transformateur a un dispositif de refroidissement avec des souffleurs et des ventilateurs, mais est également spécifié avec une capacité de puissance réduite en refroidissement naturel.

NOTE Le pourcentage de capacité de refroidissement naturel par rapport au pourcentage de capacité de refroidissement forcé des transformateurs à isolation gazeuse est inférieur à celui des transformateurs immergés dans l'huile. Il n'est en général pas difficile, dans les transformateurs immergés dans l'huile, d'atteindre une capacité ONAN représentant 50 % de la capacité OFAF ou de la capacité ODAF. Cependant, dans les transformateurs à isolation gazeuse, il est parfois difficile et pas économique d'atteindre une capacité GNAN représentant 50 % de la capacité GDAF. Il est recommandé pour l'acheteur de se concerter avec le constructeur concernant la capacité de refroidissement naturel par rapport à la capacité de refroidissement forcé.

11 Limites d'échauffement

11.1 Classification et température du système d'isolation

Les transformateurs sont classés selon les systèmes d'isolation présentés dans le Tableau 1. La température maximale dans toute partie de l'enroulement ne doit pas dépasser en permanence la température du système d'isolation du Tableau 1.

Pour des raisons pratiques, une valeur approximative de la température de point chaud peut être calculée en utilisant le concept de l'Annexe B.

Les composants utilisés comme matériaux isolants peuvent être utilisés séparément ou en assemblage complexe, pourvu que leur température ne dépasse pas en permanence les valeurs données pour la température du système d'isolation.

Tableau 1 – Classification et température du système d'isolation

Système d'isolation (voir note)	Température du système d'isolation °C
Classe 105	105
Classe 120	120
Classe 130	130
Classe 155	155
Classe 180	180
Classe 200	200
Classe 220	220
NOTE Les classifications de températures sont données dans la CEI 60085.	

11.2 Limites normales d'échauffement

L'échauffement de chaque enroulement du transformateur destiné à fonctionner dans des conditions normales ne doit pas dépasser la limite correspondante spécifiée dans le Tableau 2, conformément à l'Article 28.

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.

Dans la plupart des gaz, la limite d'échauffement du gaz est supérieure à la limite d'échauffement de l'enroulement, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de spécifier la limite d'échauffement du gaz. Si nécessaire, celle-ci est soumise à un accord entre l'acheteur et le fournisseur.

Tableau 2 – Limites d'échauffement des enroulements

Système d'isolation (voir note 1)	Echauffement moyen des enroulements K (voir note 2)
Classe 105	60
Classe 120	75
Classe 130	80
Classe 155	100
Classe 180	125
Classe 200	135
Classe 220	150
NOTE 1 Les classifications de températures sont données dans la CEI 60085.	
NOTE 2 Echauffement mesuré conformément à l'Article 28.	

11.3 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

Les exigences de la CEI 60076-2 s'appliquent.

11.4 Correction d'échauffement prévue pour des altitudes élevées

Sauf accord contraire entre le fournisseur et l'acheteur, pour les transformateurs prévus pour fonctionner à des altitudes supérieures à 1 000 m, mais soumis aux essais 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 %;

transformateurs à refroidissement forcé par air: 3 %.

Un correctif inverse correspondant peut être appliqué dans les cas où l'altitude de l'usine est supérieure à 1 000 m et où l'altitude de l'installation est inférieure à 1 000 m.

Toute correction d'échauffement en fonction de l'altitude doit être arrondie au nombre de Kelvin entier le plus proche.

L'influence d'une température ambiante ou d'une altitude différente sur le refroidissement de l'air de la cuve n'est pas prise en compte pour les transformateurs refroidis à l'eau.

11.5 Réduction des échauffements dans le cas de transformateurs prévus pour une température élevée de l'eau de refroidissement

Les exigences de la CEI 60076-2 s'appliquent.

11.6 Echauffement au cours d'un cycle de charge spécifié

Si des garanties et/ou un essai spécial concernant un cycle de charge doivent être spécifiés, les paramètres suivants doivent être précisés:

- les conditions de température initiale du transformateur, soit à température ambiante, soit avec des échauffements complémentaires en régime établi correspondant à une fraction spécifiée du courant assigné (« charge initiale »);
- l'amplitude (constante) du courant d'essai, exprimée en multiple du courant assigné, et sa durée;
- les valeurs maximales admissibles d'échauffement, à la fin de l'essai, pour le gaz au sommet et pour les enroulements (valeur moyenne mesurée par variation de résistance). Cette mention est facultative. L'essai peut être réalisé uniquement à titre informatif, sans qu'aucune limite ne soit convenue au préalable;
- toutes les observations spéciales ou les mesures à effectuer, par exemple les mesures directes de température de point chaud, l'imagerie thermique de l'échauffement des parois de la cuve, et les limitations possibles en relation avec celles-ci.

Pour des recommandations complémentaires et une discussion plus approfondie concernant le cycle de charge spécifié pendant l'échauffement – en particulier les mesures et l'évaluation, l'échauffement au cours d'un cycle de charge spécifié est soumis à un accord entre le fournisseur et l'acheteur.

12 Niveaux d'isolement

Les exigences de la CEI 60076-3 s'appliquent.

13 Exigences relatives aux gaz et à l'étanchéité aux gaz

13.1 Exigences relatives aux gaz

Le constructeur doit spécifier le type ainsi que la quantité, la qualité et la densité requises du gaz à utiliser dans un transformateur à isolation gazeuse.

Pour les transformateurs remplis d'hexafluorure de soufre, du SF₆ neuf conforme à la CEI 60376 et du SF₆ usagé conforme à la CEI 60480 peuvent être utilisés.

La teneur en humidité maximale admissible à l'intérieur du transformateur à isolation gazeuse à la pression assignée de gaz doit être telle que le point de rosée est inférieur ou égal à –20 °C pour une mesure à 20 °C. Une correction appropriée doit être effectuée pour les mesures réalisées à d'autres températures. Voir la CEI 60376 et la CEI 60480 pour la mesure et la détermination du point de rosée.

NOTE Dans les compartiments à gaz qui sont séparés de l'enroulement du transformateur, un point de rosée de –5 °C pour une mesure à 20 °C est acceptable.

13.2 Etanchéité au gaz

La CEI 62271-1 donne des règles générales relatives à l'étanchéité au gaz des appareillages à haute tension. Cette règle peut s'appliquer aux transformateurs à isolation gazeuse.

Les caractéristiques d'étanchéité doivent être cohérentes avec une philosophie minimale de maintenance et d'inspection. L'étanchéité aux gaz est spécifiée par le taux de fuite relatif F_{rel} .

Pour les transformateurs remplis d'hexafluorure de soufre, le taux de fuite relatif de SF₆ ne doit pas dépasser 0,5 % par an. Pour les transformateurs remplis du mélange constitué de SF₆ et d'autres gaz, le taux de fuite relatif du mélange ne doit pas dépasser 0,5 % par an.

14 Exigences générales relatives aux essais

Les nouveaux transformateurs doivent être soumis aux essais décrits ci-dessous.

Les essais doivent être effectués à une température ambiante quelconque comprise entre 10 °C et 40 °C. Pour les transformateurs refroidis à l'eau, les essais doivent être réalisés à une température de l'eau quelconque ne dépassant pas 25 °C.

Les essais doivent être effectués dans les ateliers du constructeur, sauf accord contraire entre le fournisseur et l'acheteur.

Tous les composants extérieurs et accessoires qui sont susceptibles d'influencer le fonctionnement du transformateur pendant l'essai doivent être en place.

Les enroulements à prise doivent être reliés à leur prise principale, à moins qu'il n'en soit spécifié autrement par l'article relatif à l'essai en cause ou par accord entre le fournisseur et l'acheteur.

Pour toutes les caractéristiques autres que l'isolement, les essais sont basés sur les conditions assignées, à moins qu'il n'en soit spécifié autrement par l'article relatif à l'essai en cause. Les essais diélectriques doivent être effectués avec la pression de gaz minimale garantie.

Tous les appareils de mesure utilisés pour les essais doivent être garantis, de précision connue et régulièrement recalibrés, conformément aux règles de 7.6 de l'ISO 9001.

NOTE Des exigences spécifiques pour la précision et la vérification des systèmes de mesure sont en cours d'élaboration (voir CEI 60076-8).

Si certaines méthodes d'essais ne sont pas décrites dans la présente norme, ou si des essais autres que ceux mentionnés dans la présente norme sont spécifiés dans le contrat, les méthodes d'essais sont soumises à un accord entre le fournisseur et l'acheteur.

15 Mesure de la résistance des enroulements (essai individuel)

L'essai décrit dans la CEI 60076-1 s'applique.

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

L'essai décrit dans 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 dans 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 égale à

- 75 °C pour une température du système d'isolation de 105 °C;
- l'échauffement moyen des enroulements, majoré de 20 °C, pour les autres échauffements moyens des enroulements.

NOTE La température de référence avec un système d'isolation de classe 200 ou supérieure doit être soumise à un accord entre le fournisseur et l'acheteur.

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 Mesures des pertes et du courant à vide (essai individuel)

L'essai décrit dans la CEI 60076-1 s'applique.

19 Essais sur les changeurs de prises en charge (essai individuel)

L'essai décrit dans la CEI 60076-1 s'applique.

20 Mesures d'impédance(s) homopolaire(s) sur des transformateurs triphasés (essai spécial)

L'essai décrit dans la CEI 60076-1 s'applique.

21 Mesure des harmoniques du courant à vide (essai spécial)

L'essai décrit dans la CEI 60076-1 s'applique.

22 Essai par tension appliquée à fréquence industrielle par source séparée (essai individuel)

L'essai décrit dans la CEI 60076-3 s'applique.

23 Essai de tenue par tension induite en fréquence industrielle de courte durée (FI CD) (essai individuel ou spécial)

L'essai décrit dans la CEI 60076-3 s'applique. L'essai individuel ou l'essai spécial est conforme à la CEI 60076-3.

24 Essai de tenue par tension induite en fréquence industrielle de longue durée avec mesure des décharges partielles (FI LD) (essai individuel ou spécial)

L'essai décrit dans la CEI 60076-3 s'applique. L'essai individuel ou l'essai spécial est conforme à la CEI 60076-3.

25 Essai au choc de foudre (CF) (essai individuel ou essai de type)

L'essai décrit dans la CEI 60076-3 s'applique. L'essai individuel ou l'essai de type est conforme à la CEI 60076-3.

26 Essai au choc de foudre coupé sur la queue (CFC) (essai spécial)

L'essai décrit dans la CEI 60076-3 s'applique.

27 Essai au choc de manœuvre (CM) (essai individuel pour les transformateurs ayant une tension maximale supérieure à 170 kV)

L'essai décrit dans la CEI 60076-3 s'applique.

28 Essai d'échauffement (essai de type)

28.1 Généralités

Les exigences correspondantes de la CEI 60076-2 s'appliquent avec la translation de l'huile vers le gaz.

28.2 Corrections

L'échauffement du gaz au-dessus de la température ambiante obtenu durant l'essai est multiplié par les facteurs suivants:

$$\left(\frac{\text{pertes totales}}{\text{pertes de l'essai}} \right)^x$$

- $x = 0,8$ pour les transformateurs de distribution à isolation gazeuse (refroidissement naturel, puissance assignée maximale 2 500 kVA);
- $x = 0,9$ pour les transformateurs de grande puissance à isolation gazeuse refroidis par circulation naturelle de gaz;
- $x = 1,0$ pour les transformateurs de grande puissance à isolation gazeuse refroidis par circulation forcée ou dirigée de gaz.

L'échauffement moyen des enroulements au-dessus de la température du gaz durant l'essai est multiplié par les facteurs suivants:

$$\left(\frac{\text{courant assigné}}{\text{courant d'essai}} \right)^y$$

- $y = 1,6$ pour les transformateurs à isolation gazeuse refroidis par circulation naturelle ou forcée de gaz;
- $y = 2,0$ pour les transformateurs à isolation gazeuse refroidis par circulation dirigée de gaz.

29 Mesure du niveau de bruit (essai spécial)

29.1 Généralités

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

29.2 Contour prescrit

S'agissant des mesures effectuées avec des auxiliaires de refroidissement à ventilation forcée et à circulation forcée de gaz (le cas échéant) hors service, le contour prescrit doit être espacé de 0,3 m de la surface de rayonnement principale.

Pour les mesures effectuées avec des auxiliaires de refroidissement à ventilation forcée ou à circulation forcée de gaz en service, le contour prescrit doit être espacé de 2 m de la surface de rayonnement principale.