



IEC 60076-15

Edition 2.0 2015-04

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

ICS 20.180

ISBN 978-2-8322-2626-1

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references.....	6
3 Terms and definitions	7
3.5 Terms, definitions, symbols and units relating to gas and vacuum tightness	8
4 Service conditions	8
5 Rating and general requirements	8
5.1 Rated power	8
5.1.1 General	8
5.1.2 Preferred values of rated power.....	9
5.1.3 Minimum power under alternative cooling modes	9
5.1.4 Loading beyond rated power	9
5.2 Cooling mode.....	9
5.2.1 General	9
5.2.2 Identification symbols.....	10
5.2.3 Transformers with alternative cooling methods.....	10
5.3 Temperature-rise limits.....	10
5.3.1 Classification and insulation system temperature	10
5.3.2 Normal temperature-rise limits.....	11
5.3.3 Reduced temperature-rises for transformers designed for high cooling air temperatures or special air cooling conditions.....	11
5.3.4 High altitude temperature-rise correction	11
5.3.5 Reduced temperature-rise for transformers designed for high cooling water temperatures	12
5.3.6 Temperature rise during specified load cycle	12
5.4 Insulation level.....	12
5.5 Load rejection on transformers directly connected to a generator	12
5.6 Rated voltage and rated frequency	12
5.7 Provision for unusual service conditions	12
5.8 Highest voltage for equipment U_m and dielectric tests levels.....	12
5.9 Additional information required for enquiry.....	12
5.10 Components and materials	12
5.11 Requirements for gases and gas tightness.....	13
5.11.1 Requirements for gases	13
5.11.2 Gas tightness.....	13
6 Requirements for transformers having a tapped winding	13
7 Connection phase displacement symbols	13
8 Rating plates	13
8.1 General.....	13
8.2 Information to be given in all cases.....	13
8.3 Additional information to be given when applicable	14
9 Safety, environmental and other requirements	15
9.1 Safety and environmental requirements	15
9.1.1 Gas leaks	15
9.1.2 Safety considerations.....	15
9.2 Dimensioning of neutral connection	16

9.3	Handling procedure for SF ₆	16
9.4	d.c. currents in neutral circuits.....	16
9.5	Centre of gravity marking	16
10	Tolerances	16
11	Tests.....	16
11.1	General requirements for routine, type and special tests	16
11.1.1	General	16
11.1.2	Routine tests.....	17
11.1.3	Type tests.....	18
11.1.4	Special tests	18
11.2	Measurement of short-circuit impedance and load loss.....	19
11.3	Leak testing with pressure (tightness test)	19
11.4	Pressure tests for tanks.....	19
11.5	Temperature-rise test.....	20
11.5.1	General	20
11.5.2	Corrections	20
11.6	Measurement of sound level.....	20
11.6.1	General	20
11.6.2	Prescribed contour.....	21
12	Electromagnetic compatibility (EMC)	21
13	High frequency switching transients	21
14	Earthing terminal	21
15	Information required with enquiry and order.....	21
Annex A (informative)	Check list of information to be provided with enquiry and order.....	22
A.1	Rating and general data	22
A.1.1	Normal information.....	22
A.1.2	Special information	23
A.2	Parallel operation	25
Annex B (informative)	Transient loading – Mathematical model.....	26
B.1	General.....	26
B.2	Mathematical model for temperature distribution in a winding of a gas-filled power transformer – The hot-spot concept.....	26
Annex C (informative)	Gauges, indicators and relays for gas-filled power transformers.....	28
Bibliography	29
Figure B.1	– Temperature distribution model	26
Table 1	– Classification and insulation system temperature	11
Table 2	– Winding temperature-rise limits.....	11
Table 3	– Exponents for the corrections of temperature rise test results	20
Table C.1	– Comparison of gauges, indicators and relays between gas-filled power transformers and oil-immersed power transformers.....	28

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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60076-15 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

This second edition of IEC 60076-15 cancels and replaces the first edition published in 2008 and constitutes a technical revision.

The following main technical changes from the first edition are:

- Modified in accordance with the related revised standards of IEC 60076-1, IEC 60076-2, IEC 60076-3 and related items of SF₆ gas in the revised standard of “High-voltage switchgear and controlgear”
- Added the clause “minimum power under alternative cooling modes”
- Added the clause “safety, environmental and other requirements”
- Added the clause “d.c. currents in neutral circuits”
- Added the clause “electromagnetic compatibility (EMC)”
- Added the clause “high frequency switching transients”

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

FDIS	Report on voting
14/811/FDIS	14/818/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 parts in the IEC 60076 series, published under the general title *Power transformers*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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.

POWER TRANSFORMERS –

Part 15: Gas-filled power transformers

1 Scope

This part of IEC 60076 applies to three-phase and single-phase gas-filled power transformers (including auto-transformers) with the exception of certain categories of small and special transformers such as:

- single-phase transformers with rated power less than 1 kVA and three-phase transformers less than 5 kVA;
- transformers, which have no windings with rated voltage higher than 1 000 V;
- instrument transformers;
- traction transformers mounted on rolling stock;
- starting transformers;
- testing transformers;
- welding transformers.

When IEC standards do not exist for such categories of transformers (in particular transformer having no winding exceeding 1 000 V for industrial applications), this part of IEC 60076 may still be applicable either as a whole or in part. This standard does not address the requirements that would make a transformer suitable for mounting in a position accessible to the general public. For those categories of power transformers and reactors which have their own IEC standards, this part is applicable only to the extent in which it is specifically called up by cross-reference in the other standard. Such standards exist for:

- reactors in general (IEC 60076-6);
- self-protected transformers (IEC 60076-13);
- transformers for wind turbine applications (IEC 60076-16);
- traction transformers and traction reactors (IEC 60310);
- converter transformers for industrial applications (IEC 61378-1);
- converter transformers for HVDC applications (IEC 61378-2).

At several places in this part it is specified or recommended that an 'agreement' should be reached concerning alternative or additional technical solutions or procedures. Such agreement is made between the manufacturer and the purchaser. The matters should preferably be raised at an early stage and the agreements included in the contract specification.

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

IEC 60076-1:2011, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60076-2:2011, *Power transformers – Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers*

IEC 60076-3, *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 60137, *Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 V*

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*

IEC 62271-4:2002, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 4: Handling procedures for sulphur hexafluoride (SF₆) and its mixtures*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	33
1 Domaine d'application.....	35
2 Références normatives	35
3 Termes et définitions	36
3.5 Termes, définitions, symboles et unités relatifs à l'étanchéité au gaz et au vide	37
4 Conditions de service	37
5 Caractéristiques assignées et exigences générales.....	37
5.1 Puissance assignée	37
5.1.1 Généralités	37
5.1.2 Valeurs préférentielles de la puissance assignée	38
5.1.3 Puissance minimale dans les modes de refroidissement alternatifs	38
5.1.4 Charge au-delà de la puissance assignée.....	38
5.2 Mode de refroidissement	39
5.2.1 Généralités	39
5.2.2 Symboles d'identification	39
5.2.3 Transformateurs avec autres méthodes de refroidissement.....	39
5.3 Limites d'échauffement.....	40
5.3.1 Classification et température du système d'isolation	40
5.3.2 Limites normales d'échauffement.....	40
5.3.3 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	41
5.3.4 Correction d'échauffement prévue pour des altitudes élevées	41
5.3.5 Réduction des échauffements dans le cas de transformateurs prévus pour une température élevée de l'eau de refroidissement.....	41
5.3.6 Échauffement au cours d'un cycle de charge spécifié.....	41
5.4 Niveau d'isolement.....	41
5.5 Perte de charge sur les transformateurs directement connectés à un générateur	42
5.6 Tension assignée et fréquence assignée	42
5.7 Dispositions pour les conditions de service inhabituelles.....	42
5.8 Tension la plus élevée pour le matériel U_m et niveaux d'essais diélectriques.....	42
5.9 Informations supplémentaires exigées pour l'appel d'offres	42
5.10 Composants et matériaux.....	42
5.11 Exigences relatives aux gaz et à l'étanchéité aux gaz	42
5.11.1 Exigences relatives aux gaz	42
5.11.2 Étanchéité	42
6 Exigences relatives aux transformateurs dotés d'un enroulement à prises.....	43
7 Symboles des couplages et des déphasages.....	43
8 Plaques signalétiques	43
8.1 Généralités	43
8.2 Informations devant être fournies dans tous les cas	43
8.3 Informations supplémentaires devant être données le cas échéant.....	44
9 Exigences de sécurité, exigences environnementales et autres exigences	45
9.1 Exigences de sécurité et exigences environnementales	45
9.1.1 Fuites de gaz.....	45

9.1.2	Considérations relatives à la sécurité	45
9.2	Dimensionnement de la connexion de neutre	46
9.3	Procédure de manipulation du SF ₆	46
9.4	Courants continus dans les circuits de neutre	46
9.5	Marquage du centre de gravité	46
10	Tolérances	46
11	Essais	46
11.1	Exigences générales relatives aux essais individuels de série, aux essais de type et aux essais spéciaux.....	46
11.1.1	Généralités	46
11.1.2	Essais individuels de série	47
11.1.3	Essais de type	48
11.1.4	Essais spéciaux	48
11.2	Mesure de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge.....	49
11.3	Essai de fuite avec pression (essai d'étanchéité)	49
11.4	Essais de pression pour les cuves.....	50
11.5	Essai d'échauffement	50
11.5.1	Généralités	50
11.5.2	Corrections	50
11.6	Mesure du niveau de bruit	51
11.6.1	Généralités	51
11.6.2	Contour prescrit	51
12	Compatibilité électromagnétique (CEM).....	51
13	Transitoires de commutation à haute fréquence.....	51
14	Borne de terre	51
15	Informations exigées à l'appel d'offres et à la commande.....	51
Annexe A (informative) Liste de contrôle des informations devant être fournies avec l'appel d'offres et la commande.....		52
A.1	Caractéristiques assignées et données générales	52
A.1.1	Informations normales.....	52
A.1.2	Informations spéciales	53
A.2	Fonctionnement en parallèle.....	55
Annexe B (informative) Charge transitoire – Modèle mathématique		56
B.1	Généralités	56
B.2	Modèle mathématique de distribution de température dans un enroulement de transformateur de puissance à isolation gazeuse – Concept de point chaud	56
Annexe C (informative) Jauges, indicateurs et relais des transformateurs de puissance à isolation gazeuse		59
Bibliographie		60
Figure B.1 – Modèle de distribution de température		57
Tableau 1 – Classification et température du système d'isolation		40
Tableau 2 – Limites d'échauffement des enroulements		41
Tableau 3 – Exposants pour les corrections des résultats d'essai d'échauffement		51

Tableau C.1– Comparaison des jauges, indicateurs et relais des transformateurs de puissance à isolation gazeuse et des transformateurs de puissance immergés dans l'huile59

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 15: Transformateurs de puissance à isolation gazeuse

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60076-15 a été établie par le comité d'études 14 de l'IEC: Transformateurs de puissance

Cette seconde édition de l'IEC 60076-15 annule et remplace la première édition, parue en 2008, dont elle constitue une révision technique.

Les principales modifications techniques suivantes ont été apportées depuis la première édition:

- Modification conforme aux normes révisées apparentées IEC 60076-1, IEC 60076-2, IEC 60076-3 et éléments apparentés du gaz SF₆ dans la norme révisée "Appareillage à haute tension"
- Ajout du paragraphe "Puissance minimale dans les modes de refroidissement alternatifs"

- Ajout de l'Article " Exigences de sécurité, exigences environnementales et autres exigences"
- Ajout du paragraphe "Courants continus dans les circuits de neutre"
- Ajout de l'Article "Compatibilité électromagnétique (CEM)"
- Ajout de l'Article "Transitoires de commutation à haute fréquence"

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/811/FDIS	14/818/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/IEC, Partie 2.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC 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.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 15: Transformateurs de puissance à isolation gazeuse

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60076 s'applique aux transformateurs de puissance à isolation gazeuse triphasés et monophasés (y compris les autotransformateurs) à l'exception de certaines catégories de petits transformateurs et de transformateurs spéciaux, tels que:

- les transformateurs monophasés de puissance assignée inférieure à 1 kVA et aux transformateurs triphasés de puissance assignée inférieure à 5 kVA;
- les transformateurs dépourvus d'enroulements présentant une tension assignée supérieure à 1 000 V;
- les transformateurs de mesure;
- les transformateurs de traction montés sur équipement roulant;
- les transformateurs de démarrage;
- les transformateurs d'essai;
- les transformateurs de soudage.

S'il n'existe pas de normes IEC pour ces catégories de transformateurs (en particulier les transformateurs dépourvus d'enroulement de plus de 1 000 V destinés aux applications industrielles), la présente partie de l'IEC 60076 peut toujours être appliquée en totalité ou en partie. La présente norme ne précise pas les exigences susceptibles de rendre un transformateur adapté au montage dans une position accessible au public. Pour ces catégories de transformateurs de puissance et de bobine d'inductance qui font l'objet de normes IEC particulières, la présente partie s'applique uniquement dans la mesure où elle est spécifiquement mentionnée par la référence croisée d'une autre norme. Ces normes concernent:

- les bobines d'inductance en général (IEC 60076-6);
- les transformateurs autoprotégés (IEC 60076-13);
- les transformateurs pour applications éoliennes (IEC 60076-16);
- les transformateurs de traction et bobines d'inductance de traction (IEC 60310);
- les transformateurs de conversion pour applications industrielles (IEC 61378-1);
- les transformateurs de conversion pour applications à courant continu haute tension (HVDC High Voltage Direct Current en anglais) (IEC 61378-2).

Il est spécifié ou recommandé en plusieurs points de la présente norme, de trouver un "accord" concernant les solutions techniques ou procédures alternatives ou complémentaires. Ce type d'accord est conclu entre le constructeur et l'acheteur. Il conviendrait de préférence de soulever la question dès le début du projet et d'inclure les accords dans la spécification contractuelle.

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 suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les

références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60076-1:2011, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*

IEC 60076-2:2011, *Transformateurs de puissance – Partie 2: Echauffement des transformateurs immergés dans le liquide*

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

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

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

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

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

IEC 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*

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

IEC 62271-4:2002, *Appareillage à haute tension – Partie 4: Utilisation et manipulation de l'hexafluorure de soufre (SF₆) et des mélanges contenant du SF₆*