

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	66
1 Domaine d'application.....	68
2 Références normatives	68
3 Termes et définitions	69
4 Conditions de service	70
4.1 Généralités	70
4.2 Conditions normales de service	70
4.3 Compatibilité électromagnétique (CEM)	72
5 Caractéristiques assignées et exigences générales	72
5.1 Généralités	72
5.2 Puissance assignée	72
5.2.1 Généralités	72
5.2.2 Définition de la puissance assignée avec refroidissement par ventilateur ou échangeurs de chaleur	72
5.2.3 Transformateur IP00 (sans enveloppe)	73
5.2.4 Transformateur avec enveloppe	73
5.2.5 Valeurs préférentielles de puissance assignée.....	73
5.2.6 Charge au-delà de la puissance assignée.....	73
5.3 Dispositions pour conditions de service exceptionnelles.....	73
5.4 Transport et stockage.....	74
5.4.1 Limitations de transport.....	74
5.4.2 Accélération durant le transport.....	75
5.4.3 Conditions de température et d'environnement pour le transport et le stockage	75
5.5 Tension assignée et fréquence assignée	75
5.5.1 Tension assignée.....	75
5.5.2 Fréquence assignée.....	75
5.6 Fonctionnement avec tension supérieure à la tension assignée.....	75
5.7 Tension la plus élevée pour le matériel U_m et niveaux des essais diélectriques	75
5.8 Désignation suivant le mode de refroidissement.....	76
5.8.1 Généralités	76
5.8.2 Symboles de désignation	76
5.8.3 Disposition des symboles	76
5.9 Échauffement garanti en conditions assignées.....	76
5.10 Informations supplémentaires demandées à l'appel d'offres	77
5.11 Niveau de bruit.....	77
5.12 Composants et matériaux.....	77
6 Prises.....	77
7 Connexions	77
8 Tenue au court-circuit.....	77
9 Plaque signalétique	77
9.1 Plaque signalétique fixée sur le transformateur.....	77
9.2 Plaque signalétique fixée sur l'enveloppe du transformateur.....	78
10 Limites d'échauffement	78

10.1	Limites normales d'échauffement.....	78
10.2	Réduction des échauffements dans le cas de transformateurs prévus pour une température élevée du fluide de refroidissement ou pour des conditions spéciales du fluide de refroidissement	79
10.3	Correction d'échauffement prévue pour des altitudes élevées.....	80
11	Niveaux d'isolement.....	80
11.1	Généralités	80
11.2	Transformateurs pour utilisation à des altitudes élevées	81
12	Classes climatiques, d'environnement et de comportement au feu	81
12.1	Classes climatiques	81
12.2	Classes d'environnement.....	82
12.2.1	Transformateurs pour application de type intérieur avec ou sans enveloppe et pour application de type extérieur avec enveloppe	82
12.2.2	Transformateurs de type sec sans enveloppe pour application de type extérieur	83
12.3	Classes de comportement au feu.....	83
12.4	Critères d'essai pour les classes climatiques, d'environnement et de comportement au feu.....	84
13	Classe sismique	85
13.1	Généralités	85
13.2	Approche de la classe sismique générale	85
13.2.1	Généralités	85
13.2.2	Méthode à amplitude normalisée	85
13.2.3	Méthode à amplitude calculée	86
14	Essai.....	87
14.1	Exigences générales pour les essais	87
14.2	Essais individuels de série	88
14.2.1	Mesure de la résistance des enroulements	88
14.2.2	Mesure du rapport de tension et contrôle du déphasage	88
14.2.3	Mesure de l'impédance de court-circuit et des pertes dues à la charge.....	88
14.2.4	Mesure des pertes et du courant à vide	89
14.2.5	Essai de tension appliquée (AV).....	89
14.2.6	Essai de tenue par tension induite (IVW)	89
14.2.7	Mesure des décharges partielles	90
14.3	Essais de type	92
14.3.1	Essai de tenue au choc de foudre pleine onde (CF)	92
14.3.2	Essai d'échauffement	93
14.4	Essais spéciaux	96
14.4.1	Mesure des décharges partielles pour les transformateurs fonctionnant en condition monophasée de défaut entre phase et terre	96
14.4.2	Mesure du niveau de bruit	97
14.4.3	Essai de tenue au court-circuit	97
14.4.4	Essais climatiques	97
14.4.5	Essai d'environnement	99
14.4.6	Essai de comportement au feu	101
14.4.7	Essai sismique.....	108
14.4.8	Essai spécial pour transformateurs équipés d'un noyau amorphe	109
15	Tolérances	110
16	Protection contre le contact direct.....	110

17	Degrés de protection procurés par les enveloppes	110
18	Bornes de mise à la terre	110
19	Information demandée à l'appel d'offre et à la commande.....	110
Annexe A (informative) Installation et sécurité des transformateurs de type sec		111
A.1	Manuels.....	111
A.2	Installation	111
A.2.1	Généralités	111
A.2.2	Sécurité intrinsèque	111
A.2.3	Précautions d'installation.....	112
A.2.4	Conception d'installation	112
Annexe B (informative) Essai d'environnement pour transformateurs de type extérieur sans enveloppe à des fins d'évaluation.....		113
B.1	Généralités	113
B.2	Essai en salle de brouillard salin et rayonnement UV	113
B.2.1	Description de l'essai	113
B.2.2	Critères d'acceptation:	115
B.3	Essai sur le revêtement du noyau et des pinces.....	115
B.3.1	Description de l'essai	115
B.3.2	Critères d'acceptation:	116
B.4	Essai sur site	116
B.4.1	Description de l'essai	116
B.4.2	Critères d'acceptation:	116
Annexe C (normative) Refroidissement d'un transformateur dans une salle ventilée naturellement.....		117
C.1	Hypothèses.....	117
C.2	Données pour le calcul de la ventilation	118
C.3	Sortie.....	118
C.4	Application numérique pour un transformateur de 1 000 kVA.....	119
Annexe D (normative) Calcul des pertes avec différentes températures de référence et/ou différents matériaux d'enroulement		121
Bibliographie		124
Figure 1 – Circuit de mesure de base pour l'essai des décharges partielles pour un transformateur monophasé		90
Figure 2 – Circuit de mesure de base pour l'essai des décharges partielles pour un transformateur triphasé.....		91
Figure 3 – Application de la tension pour l'essai individuel de série de décharges partielles		91
Figure 4 – Exemple de méthode en opposition – Monophasé		95
Figure 5 – Exemple de méthode en opposition – Triphasé		95
Figure 6 – Application de la tension pour l'essai de décharges partielles spécial		97
Figure 7 – Salle d'essai.....		104
Figure 8 – Détails de la salle d'essai		105
Figure B.1 – Cycle de vieillissement multiparamètre au brouillard salin		114
Figure C.1 – Dissipation thermique dans une salle à ventilation naturelle		118
Tableau 1 – Symboles littéraux		76

Tableau 2 – Limites d'échauffement d'enroulement.....	79
Tableau 3 – Niveaux de tension d'essai.....	80
Tableau 4 – Facteur de correction du niveau de tension appliquée.....	81
Tableau 5 – Séquence des essais.....	84
Tableau 6 – Niveau d'accélération approché et niveau de performance.....	86
Tableau 7 – Niveau d'accélération au sol (<i>AG</i>).....	87
Tableau 8 – Facteurs d'amplification recommandés (<i>K</i>).....	87
Tableau 9 – Facteurs de direction (<i>D</i>).....	87
Tableau 10 – Caractéristiques des classes climatiques.....	97
Tableau 11 – Classes d'environnement.....	100
Tableau 12 – Dimensions de la salle.....	103
Tableau B.1 – Classes d'environnement extérieur.....	113

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 11: Transformateurs de type sec

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 60076-11 a été établie par le comité d'études 14 de l'IEC: Transformateurs de puissance.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition publiée en 2004 dont elle constitue une révision technique.

Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- Extension du domaine d'application jusqu'à 72,5 kV
- Prise en compte des enveloppes en ce qui concerne les performances
- Prise en compte des caractéristiques diélectriques et thermiques en fonction de l'altitude
- Nouvelles classes climatiques pour une meilleure adaptation des besoins des clients

- Établissement de la relation entre l'emplacement et les classes d'environnement
- Pour les classes de comportement au feu, limitation à 1 000 kVA et processus d'essai plus robuste
- Introduction d'une classe sismique
- Recommandations pour les transformateurs amorphes

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/964/FDIS	14/972/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 internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60076, publiée sous le titre général *Transformateurs de puissance*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document 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 au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 11: Transformateurs de type sec

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60076 s'applique aux transformateurs de type sec (y compris les autotransformateurs) dont les valeurs de tension la plus élevée pour le matériel sont inférieures ou égales à 72,5 kV avec au moins un enroulement fonctionnant à plus de 1,1 kV.

Le présent document ne s'applique pas aux:

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

Lorsqu'il n'existe pas de norme IEC pour les transformateurs mentionnés ci-dessus ou pour d'autres transformateurs spéciaux, le présent document peut être appliquée en tout ou en partie.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60068-3-3, *Essais d'environnement – Partie 3-3: Guide – Méthodes d'essais sismiques applicables aux matériels*

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

IEC 60071-2, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Lignes directrices en matière d'application*

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

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

IEC 60076-3:2013, *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 60076-12:2008, *Transformateurs de puissance – Partie 12: Guide de charge pour transformateurs de puissance de type sec*

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

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

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

IEC 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

IEC 60721-3-4, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 4: Utilisation à poste fixe, non protégé contre les intempéries*

IEC TS 60815-1, *Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles* (disponible en anglais seulement)

IEC 61378-1, *Transformateurs de conversion – Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles*

IEC 62271-202, *Appareillage à haute tension – Partie 202: Postes préfabriqués haute tension/basse tension*

ISO 12944-6, *Peintures et vernis – Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture – Partie 6: Essais de performance en laboratoire*

3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

transformateur de type sec

transformateur dont le circuit magnétique et les enroulements ne sont pas immergés dans un diélectrique liquide

3.2

transformateur de type sec sous enveloppe entièrement hermétique

transformateur installé dans une enveloppe hermétique non pressurisée, refroidi par circulation intérieure de l'air, sans aucun échange intentionnel avec l'air extérieur

3.3

transformateur de type sec sous enveloppe non hermétique

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

3.4

transformateur de type sec sans enveloppe

transformateur sans habillage de protection refroidi par ventilation naturelle ou forcée

4 Conditions de service

4.1 Généralités

Les exigences de l'IEC 60076-1 ne s'appliquent aux transformateurs de type sec que si elles font l'objet d'une référence dans le présent document.

4.2 Conditions normales de service

a) Altitude:

Voir l'IEC 60076-1.

b) Température de l'air et de l'eau de refroidissement:

Voir l'IEC 60076-1.

Pour les transformateurs refroidis à l'eau, la spécification de l'eau (température, débit d'eau, etc.) doit être définie par accord entre le constructeur et l'acheteur si la température de l'eau diffère de la valeur spécifiée dans l'IEC 60076-1 et l'IEC 60076-2.

NOTE Des liquides autres que l'eau sont susceptibles d'être utilisés en tant que fluide de refroidissement; dans ce cas, toutes les données techniques du fluide doivent être définies par accord entre le constructeur et l'acheteur.

c) Forme d'onde de la tension d'alimentation:

Une tension d'alimentation sinusoïdale dont le taux d'harmonique total ne dépasse pas 5 % et dont le taux d'harmoniques pairs ne dépasse pas 1 %.

L'acheteur doit spécifier l'amplitude et la fréquence de toutes les tensions harmoniques présentes dans l'alimentation qui dépassent ces limites.

Il convient que le constructeur prenne en compte ces harmoniques pour déterminer les pertes supplémentaires du circuit magnétique et qu'il considère également la saturation du circuit magnétique.

d) Taux d'harmoniques du courant de charge:

Au stade de l'appel d'offres, l'acheteur doit spécifier l'amplitude et la fréquence de chaque composante de courant harmonique générée par la charge.

Le constructeur doit prendre en considération les pertes supplémentaires occasionnées par les courants harmoniques dans le calcul de l'échauffement des enroulements et les effets sur les autres parties métalliques du transformateur.

Le constructeur doit calculer les pertes supplémentaires en utilisant la méthode spécifiée dans l'IEC 61378-1 ou, par accord entre le constructeur et l'acheteur, à l'aide d'une méthode telle que le calcul par éléments finis.

Si le total des harmoniques du courant de charge dépasse 5 %, les pertes supplémentaires dues aux courants harmoniques doivent alors être prises en considération en augmentant le courant d'essai pour l'essai d'échauffement.

L'échauffement avec ces pertes ne doit pas dépasser la limite correspondante spécifiée dans le Tableau 2, lorsque l'essai est réalisé conformément au 14.3.2.

e) Symétrie des tensions d'alimentation triphasées:

Voir l'IEC 60076-1.

f) Environnement d'installation:

La présente norme définit des classes spécifiques d'environnement en fonction des paramètres suivants:

- 1) conditions climatiques;
- 2) humidité et pollution;
- 3) comportement au feu;
- 4) perturbations sismiques;
- 5) conditions environnementales conformes aux définitions suivantes de l'IEC 60721-3-4:
 - i) conditions biologiques 4B1;
 - ii) substances chimiquement actives 4C2;
 - iii) substances mécaniquement actives 4S3;
 - iv) conditions mécaniques 4M4.

g) Pour les transformateurs destinés à être installés à l'intérieur, certaines de ces conditions environnementales sont susceptibles de ne pas être applicables.

h) Courant d'enclenchement:

Les limites du courant d'enclenchement du système, le cas échéant, (valeur maximale, durée) doivent être indiquées au stade de l'appel d'offres par l'acheteur.

i) Fréquence d'enclenchement:

Si la fréquence des enclenchements est supérieure à 24 fois par an, l'acheteur doit alors indiquer le nombre annuel d'enclenchements au stade de l'appel d'offres.

j) Protection contre l'eau et les liquides:

Le transformateur doit être protégé contre le ruissellement d'eau ou la submersion par l'eau et d'autres liquides.

k) Conditions électriques et environnementales spécifiques autour du transformateur:

L'IEC 60076-3 recommande des distances minimales générales d'isolement dans l'air entre les parties sous tension du transformateur et les parties conductrices de l'installation.

Toute partie de l'installation constituée d'un matériau isolant devient conductrice une fois humidifiée avec de l'eau de pluie, de l'eau salée ou d'autres liquides conducteurs. Des décharges partielles à proximité du transformateur peuvent réduire la rigidité diélectrique de l'air.

Par conséquent, les distances dans l'air entre ces parties de l'installation et les parties sous tension du transformateur doivent respecter les valeurs recommandées dans l'IEC 60076-3.

NOTE Un accord entre l'acheteur et le constructeur est nécessaire pour réduire les distances dans l'air entre les parties actives du transformateur et les parties conductrices de l'installation.

l) Niveau de vibration:

Les vibrations de la structure dans laquelle le transformateur est destiné à être installé doivent être prises en considération lors de la conception du transformateur et une attention particulière doit être accordée à la contrainte transmise aux bornes de raccordement.

L'acheteur doit spécifier un spectre de vibration au stade de l'appel d'offres. Il convient que la procédure d'essai de vibration, le cas échéant, fasse l'objet d'un accord entre l'acheteur et le constructeur au stade de l'appel d'offres.