

NORME INTERNATIONALE

CEI 60076-7

Première édition
2005-11

Transformateurs de puissance –

Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile

© IEC 2005 Droits de reproduction réservés

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	10
1 Domaine d'application	12
2 Références normatives.....	12
3 Définitions	12
4 Symboles et abréviations.....	16
5 Effet d'un régime de charge au-delà des caractéristiques de la plaque signalétique	20
5.1 Introduction	20
5.2 Conséquences générales	22
5.3 Effets et risques d'un régime de charge de secours de courte durée	22
5.4 Effets du chargement d'urgence de longue durée	24
5.5 Taille du transformateur	26
5.6 Papier d'isolation à performances thermiques améliorées ou non	26
6 Vitesse de vieillissement relatif et durée de vie de l'isolation du transformateur	30
6.1 Généralités.....	30
6.2 Vitesse de vieillissement relatif	30
6.3 Calcul de perte de la vie.....	32
6.4 Durée de vie de l'isolation	32
7 Limites	32
7.1 Limitations de courant et de température.....	32
7.2 Limitations spécifiques pour les transformateurs de distribution	34
7.3 Limitations spécifiques pour les transformateurs de moyenne puissance.....	36
7.4 Limitations spécifiques pour les transformateurs de grande puissance	38
8 Détermination des températures.....	40
8.1 Echauffement du point-chaud en régime permanent	40
8.2 Températures de l'huile à la partie supérieure et température du point-chaud pour des conditions variables de température ambiante et de régime de charge....	52
8.3 Température ambiante	62
9 Influence des changeurs de prises	64
9.1 Généralités.....	64
9.2 Pertes en charge.....	66
9.3 Rapport des pertes.....	66
9.4 Facteur de charge	66
Annexe A (informative) Calcul de la constante de temps de l'huile et de l'enroulement	68
Annexe B (informative) Exemple pratique de la méthode d'équations exponentielle	72
Annexe C (informative) Illustration de la méthode de solution des équations différentielles	82
Annexe D (informative) Organigramme, fondé sur l'exemple de l'annexe B.....	100
Annexe E (informative) Exemple de calcul et de présentation des données de surcharge ..	104
Bibliographie.....	112

Figure 1 – Vieillessement accéléré en tube scellé dans de l'huile minérale à 150°C.....	28
Figure 2 – Diagramme thermique	42
Figure 3 – Echauffement local au-dessus de la température de l'air dans un enroulement de 120 kV avec un facteur de charge de 1,6.....	44
Figure 4 – Echauffement local au-dessus de la température de l'air dans un enroulement de 410 kV avec un facteur de charge de 1,6.....	46
Figure 5 – Deux sondes à fibres optiques installées dans une cale avant que la cale ait été installée dans l'enroulement de 120 kV	46
Figure 6 – Enroulement refroidi par une circulation en zigzag où la distance entre toutes les sections est la même et l'écran de circulation du fluide est installé dans l'espace entre sections	50
Figure 7 – Vue de dessus de la section d'un enroulement rectangulaire avec "disposition de canaux de refroidissement réduits" sous les culasses.	50
Figure 8 – Réponses en température aux variations en échelons du courant de charge.....	54
Figure 9 –La fonction $f_2(t)$ associée aux valeurs données au tableau 5.....	58
Figure 10 – Représentation du schéma bloc fonctionnel des équations différentielles.....	60
Figure 11 – Principe des pertes en fonction de la position de prise.....	66
Figure B.1 – Courbes comparatives des réponses en température du point chaud aux variations en échelons du courant de charge	78
Figure B.2 – Courbes comparatives des réponses en température de l'huile supérieure aux variations en échelons du courant de charge.....	78
Figure C.1 – Exemple de données d'entrée tracées	92
Figure C.2 – Données de sortie tracées pour l'exemple	98
Figure E.1 – Gros transformateurs de puissance OF: charges admissibles pour une perte de la vie normale	110
Tableau 1 – Durée de vie du papier sous diverses conditions	28
Tableau 2 – Vitesse de vieillissement relatif due à la température du point-chaud	30
Tableau 3 – Durée de vie normale d'un système d'isolation à performance thermique améliorée exempte d'oxygène et bien sec à la température de référence de 110 °C	32
Tableau 4 – Limites de courant et de température applicables aux charges au-delà des caractéristiques de la plaque signalétique	34
Tableau 5 – Caractéristiques thermiques recommandées pour les équations exponentielles.....	58
Tableau 6 – Correction concernant l'augmentation de la température ambiante due à l'enceinte.....	64
Tableau B.1 – Périodes de charge du transformateur de 250 MVA.....	72
Tableau B.2 – Températures à la fin de chaque étape de charge.....	80
Tableau C.1 – Exemple de données d'entrée.....	90
Tableau C.2 – Exemple de données de sortie	96
Tableau E.1 – Caractéristiques d'exemple liées à la possibilité de charge des transformateurs	104
Tableau E.2 – Exemple de tableau présentant les charges admissibles et la perte de la vie quotidienne correspondante (en jours "normaux), et l'échauffement maximal du point-chaud au cours du cycle de charge.....	108

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile

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 60076-7 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Cette norme annule et remplace la CEI 60354 publiée en 1991. Cette première édition constitue une révision technique du contenu de la CEI 60354. Les détails des changements techniques sont donnés dans l'introduction.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/512/FDIS	14/520/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.

La CEI 60076 comprend les parties suivantes, sous le titre général *Transformateurs de puissance*:

- Partie 1: Généralités
- Partie 2: Echauffement
- Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air
- Partie 4: Guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manœuvre – Transformateurs de puissance et bobines d'inductance
- Partie 5: Tenue au court-circuit
- Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile
- Partie 8: Guide d'application
- Partie 10: Détermination des niveaux de bruit
- Partie 11: Transformateurs de type sec

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.

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 60076 fournit des conseils pour les spécifications et les régimes de charge des transformateurs de puissance du point de vue des températures de fonctionnement et du vieillissement thermique. Elle fournit des recommandations pour le fonctionnement à des régimes de charge supérieurs à la valeur assignée et un guide pour le planificateur afin de choisir les grandeurs assignées et les conditions de charge appropriées pour de nouvelles installations.

La CEI 60076-2 constitue la base pour des ententes contractuelles et elle contient les exigences et les essais concernant les valeurs d'échauffement des transformateurs immergés dans l'huile dans le cas de régime permanent aux grandeurs assignées. Il convient de noter que la CEI 60076-2 fait référence à l'échauffement moyen des enroulements tandis que la présente partie de la CEI 60076 se réfère principalement à la température de point chaud et les valeurs indiquées sont données seulement à titre indicatif.

La présente partie de la CEI 60076 donne des modèles mathématiques pour juger la conséquence de différents régimes de charge, transitoires ou cycliques, pour différentes températures du fluide de refroidissement. Les modèles donnent le calcul des températures de fonctionnement dans le transformateur, en particulier la température de la partie la plus chaude de l'enroulement. Cette température du point chaud est utilisée à son tour pour évaluer une valeur relative de la vitesse de vieillissement thermique et le pourcentage de la vie consommée dans une période de temps particulière. La modélisation fait référence aux petits transformateurs, ici appelés transformateurs de distribution, et aux transformateurs de puissance.

Un changement important par rapport à la CEI 60354:1991 est l'utilisation croissante des capteurs de température à fibres optiques dans les transformateurs. Cet usage a radicalement accru les possibilités d'obtenir une modélisation thermique correcte des transformateurs de puissance, en particulier à chaque changement de palier du courant de charge. Ces possibilités ont également mis en évidence des différences entre "l'exposant d'huile x " et "l'exposant d'enroulement y " utilisés dans la présente partie de la CEI 60076 et dans la CEI 60076-2:1993, pour les transformateurs de puissance:

- $x = 0,9$ dans la CEI 60076-2, et $x = 0,8$ dans la présente partie de la CEI 60076 avec un mode de refroidissement ON.
- $y = 1,6$ dans la CEI 60076-2, et $y = 1,3$ dans la présente partie de la CEI 60076 avec les modes de refroidissement ON et OF.

Pour les transformateurs de distribution les mêmes valeurs de x et de y sont utilisées dans la présente partie de la CEI 60076 et dans la CEI 60076-2.

La présente partie de la CEI 60076 présente des recommandations supplémentaires concernant les limites de charge admissible selon les résultats des calculs ou des mesures de la température. Ces recommandations se réfèrent à différents types de régimes de charge – régime de charge continu, régime cyclique non perturbé ou régime temporaire de secours. Les recommandations se rapportent aux transformateurs de distribution, aux transformateurs de moyenne puissance et aux transformateurs de grande puissance.

Les articles de 1 à 7 contiennent les définitions, les informations communes générales et les limitations spécifiques pour le fonctionnement des différentes catégories de transformateurs.

L'article 8 contient la détermination des températures, et présente les modèles mathématiques utilisés pour estimer la température du point chaud en régimes permanents et transitoires.

L'article 9 contient une courte description de l'influence de la position de prise.

Des exemples d'application sont donnés en Annexes B, C et E.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60076 est applicable aux transformateurs immergés dans l'huile. Elle décrit l'effet du fonctionnement pour diverses températures ambiantes et conditions de charge durant la vie du transformateur.

NOTE Pour les transformateurs de four, il convient de consulter le fabricant compte tenu du profil particulier de charge.

2 Références normatives

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

CEI 60076-2:1993, *Transformateurs de puissance – Partie 2: Echauffement*

CEI 60076-4:2002, *Transformateurs de puissance – Partie 4: Guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manœuvre – Transformateurs de puissance et bobines d'inductance*

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