

NORME
INTERNATIONALE

INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

61378-1

Première édition
First edition
1997-09

Transformateurs de conversion –

**Partie 1:
Transformateurs pour applications industrielles**

Convertor transformers –

**Part 1:
Transformers for industrial applications**

© IEC 1997 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Généralités.....	6
1.1 Domaine d'application.....	6
1.2 Classification	8
1.3 Conditions de service normal.....	8
2 Références normatives	8
3 Définitions	10
4 Régimes assignés	10
4.1 Puissance assignée à la fréquence assignée et capacité de charge.....	12
4.2 Tensions assignée et en service	12
4.3 Courant assigné	14
5 Pertes dues à la charge et chute de tension dans les transformateurs et bobines d'inductance	14
5.1 Détermination des pertes dues à la charge du transformateur en fonction de la distorsion du courant de charge.....	14
5.2 Effet de la disposition géométrique des enroulements sur leurs pertes par courants de Foucault dues à la présence des harmoniques	22
5.3 Pertes dans les bobines d'absorption, dans les bobines d'inductance d'équilibrage de courant, dans les bobines d'inductance de lissage et dans les transducteurs.....	22
5.4 Chutes de tension dans les transformateurs et les bobines d'inductance	24
6 Essais des transformateurs de conversion	24
6.1 Mesure de la réactance de commutation et détermination de la chute inductive de tension.....	26
6.2 Mesure du rapport de transformation et du déphasage	26
6.3 Essai de mesure des pertes dues à la charge	28
6.4 Essais d'échauffement.....	28
Tableau 1 – Montages et facteurs de calcul	34
Annexes	
A Détermination des pertes dues à la charge en service au courant non sinusoïdal assigné en fonctionnement en conversion à partir des mesures au courant assigné du transformateur à la fréquence fondamentale	38
B Courants d'essais de court-circuit et pertes dues à la charge des transformateurs pour convertisseurs à simple voie (injection des pertes totales).....	56
Figures	
A.1 Section d'un conducteur d'enroulement.....	42
A.2 Identification des bornes pour couplage d'enroulements Y yy0	46
A.3 Identification des bornes pour couplage d'enroulements D d y.....	52

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 General	7
1.1 Scope	7
1.2 Classification	9
1.3 Normal service conditions	9
2 Normative references	9
3 Definitions	11
4 Ratings	11
4.1 Rated power at rated frequency and load capability	13
4.2 Rated and service voltages	13
4.3 Rated current	15
5 Load loss and voltage drop in transformers and reactors	15
5.1 Determination of transformer load loss under distorted current loading	15
5.2 Effect of geometrical arrangement of windings on their eddy current losses due to harmonics	23
5.3 Losses in interphase transformers, current-balancing reactors, series-smoothing reactors and transductors	23
5.4 Voltage drops in transformers and reactors	25
6 Tests for convertor transformers	25
6.1 Measurement of commutating reactance and determination of the inductive voltage drop	27
6.2 Measurement of voltage ratio and phase displacement	27
6.3 Load loss test	29
6.4 Temperature rise tests	29
Table 1 – Connections and calculation factors	34
Annexes	
A Determination of transformer service load loss at rated non-sinusoidal convertor current from measurements with rated transformer current of fundamental frequency	39
B Short-circuit test currents and load losses in transformers for single-way convertors (total loss injection)	57
Figures	
A.1 Cross-section of a winding strand	43
A.2 Terminal identification for winding connection Y yy0	47
A.3 Terminal identification for winding connection D d y	53

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE CONVERSION –

Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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 61378-1 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
14/261/FDIS	14/270/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.

Les annexes A et B sont données uniquement à titre d'information.

La CEI 61378 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: Transformateurs de conversion:

- Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles;
- Partie 2: Transformateurs pour applications courant continu à haute tension (à l'étude)
- Partie 3: Guide d'application (à l'étude)

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CONVERTOR TRANSFORMERS –**Part 1: Transformers for industrial applications**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61378-1 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
14/261/FDIS	14/270/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.

Annexes A and B are for information only.

IEC 61378 consists of the following parts, under the general title: Converter transformers:

- Part 1: Transformers for industrial applications
- Part 2: Transformers for HVDC applications (under consideration)
- Part 3: Application guide (under consideration)

TRANSFORMATEURS DE CONVERSION –

Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles

1 Généralités

1.1 *Domaine d'application*

La présente Norme internationale traite des spécifications, de la conception et des essais des transformateurs de puissance et des bobines d'inductance qui sont destinés à être intégrés dans des installations de conversion à semiconducteurs; cette norme n'est pas applicable en général aux transformateurs conçus pour la distribution industrielle ou publique de puissance en courant alternatif.

Le domaine d'application de cette norme est limité aux applications des convertisseurs de puissance, de quelque puissance que ce soit, pour la distribution locale, à tension de conversion assignée modérée, généralement pour des applications industrielles, et typiquement avec une tension maximale pour équipement n'excédant pas la classe 36 kV.

Cette norme n'est pas applicable aux transformateurs de puissance pour la transmission de puissance CCHT. Ceux-ci sont des transformateurs à haute tension et ils sont soumis à des essais diélectriques en courant continu.

Les normes pour l'installation complète de conversion (CEI 60146 ou autres publications relatives à des champs particuliers d'application) peuvent contenir des prescriptions de garanties et d'essais (par exemple isolement et niveaux de pertes) pour toute l'installation comprenant le transformateur de conversion et éventuellement les transformateurs auxiliaires et des bobines d'inductance. Cela n'empêche pas que les prescriptions de la présente norme concernant les garanties et les essais s'appliquent au transformateur de conversion lui-même comme composant séparé avant d'être assemblé avec le restant de l'installation de conversion.

Les garanties, les essais de type et de service définis dans cette norme s'appliquent aussi bien aux transformateurs fournis comme partie d'un ensemble d'équipement de conversion qu'aux transformateurs commandés séparément mais destinés à être utilisés dans des installations de conversion. Toute garantie supplémentaire ou vérification spéciale doit faire l'objet d'un accord spécifique dans le contrat du transformateur.

Les transformateurs de conversion couverts par cette norme peuvent être de conception immergée dans l'huile ou du type sec. A moins que des exceptions spécifiques ne soient prescrites dans la présente norme, les transformateurs doivent être conformes à la CEI 60076 pour les transformateurs immergés dans l'huile et à la CEI 60726 pour les transformateurs du type sec.

NOTES

1 Pour certaines applications en conversion, il est possible d'utiliser des transformateurs communs de distribution de conception normalisée. L'utilisation de tels transformateurs normalisés dans des applications spéciales en conversion peut nécessiter un certain déclassement. Ce sujet n'est pas spécifiquement couvert dans la présente norme qui traite des prescriptions à imposer à des unités spécialement conçues. Il est possible d'estimer ce déclassement à partir des formules données en 5.1 et aussi de l'article 9 de la CEI 60076-8.

2 Lorsque des transformateurs du type sec sont utilisés pour cette application, il convient d'apporter un soin particulier dans la prise en compte des courtes constantes de temps applicables et des pertes par courants de Foucault accrues dans les conducteurs de grande section et dans les enroulements en feuilles.

CONVERTOR TRANSFORMERS –

Part 1: Transformers for industrial applications

1 General

1.1 Scope

This International Standard deals with the specification, design and testing of power transformers and reactors which are intended for integration within semiconductor convertor plants; it is not applicable to transformers designed for industrial or public distribution of a.c. power in general.

The scope of this standard is limited to applications of power convertors, of any power rating, for local distribution, at moderate rated convertor voltage, generally for industrial applications and typically with a highest voltage for equipment not exceeding 36 kV.

This standard is not applicable to transformers for HVDC power transmission. These are high-voltage transformers, and they are subjected to d.c. voltage tests.

The standards for the complete convertor plant (IEC 60146, or other publications dedicated to particular fields of application) may contain requirements of guarantees and tests (such as insulation, power loss) for the whole plant, including the convertor transformer and possibly auxiliary transformers and reactor equipment. This does not relieve the application of the requirements of this standard concerning the guarantees and tests applicable to the convertor transformer itself as a separate component before being assembled with the remainder of the convertor plant.

The guarantees, service and type tests defined in this standard apply equally to transformers supplied as part of an overall convertor package, or to those transformers ordered separately but for use with convertor equipment. Any supplementary guarantee or special verification has to be specifically agreed in the transformer contract.

The convertor transformers covered by this standard may be of the oil-immersed or dry-type design. Unless specific exceptions are stated in this standard, the transformers are required to comply with IEC 60076 for oil-immersed transformers, and with IEC 60726 for dry-type transformers.

NOTES

1 For some convertor applications, it is possible to use common distribution transformers of standard design. The use of such standard transformers in the special convertor applications may require a certain derating. This matter is not specifically covered in this standard, which deals with the requirements to be placed on specially designed units. It is possible to estimate this derating from the formulae given in 5.1, and also from clause 9 of IEC 60076-8.

2 Where dry-type transformers are used, special care should be taken in considering the short time constants applicable and the increased eddy currents flowing in the larger cross-section conductors or foil windings.

Cette norme s'applique seulement aux transformateurs comportant une seule partie active et une seule bobine d'absorption. Pour plusieurs parties actives dans la même cuve, un accord est nécessaire entre l'acheteur et le fabricant pour la détermination et la mesure des pertes.

Cette norme s'applique seulement aux transformateurs à couplage étoile Y et à couplage triangle Δ . Pour d'autres couplages, un accord est nécessaire entre l'acheteur et le fabricant.

1.2 Classification

La classification des convertisseurs et les applications des convertisseurs sont données en 1.3 de la CEI 60146-1-1 et en 1.2 de la CEI 60146-1-2. Pour la conception des transformateurs, il est important de distinguer entre

- les applications avec une tension essentiellement sinusoïdale le long du transformateur, et
- les applications avec des tensions non sinusoïdales où le primaire du transformateur est excité à partir d'un circuit convertisseur de puissance commandé en courant alternatif ou d'un circuit convertisseur à fréquence variable.

Il est aussi important de distinguer entre

- les applications avec une charge continue, comme l'électrolyse, les fours à arc à courant continu, etc., et
- les applications avec des variations de charge cycliques ou irrégulières de courte durée, comme les laminoirs à commande par moteurs réversibles, etc.

Il est nécessaire que des informations sur l'application des convertisseurs soient fournies avec la spécification du transformateur. Cela est détaillé plus complètement dans les paragraphes suivants de la présente norme.

1.3 Conditions de service normal

Les conditions de service normal pour le transformateur doivent être conformes à la CEI 60076-1, à la CEI 60076-2, à la CEI 60726 et à la CEI 60146-1-1.

Il est nécessaire qu'une quelconque déviation de la tension en courant alternatif par rapport à la valeur de la tension assignée ou aux valeurs des tensions de prise, forme d'onde sinusoïdale ou symétrie des trois phases soit inscrite dans les limites de la classe d'immunité B, conformément à 2.5 de la CEI 60146-1-1. Si le transformateur de conversion est alimenté avec une tension non sinusoïdale, une application en convertisseur de fréquence ou en onduleur, il est nécessaire que des informations sur la plage de variation de la forme de la tension de service et sur la variation de sa fréquence soient fournies dans la spécification. Il est aussi important que des informations soient données concernant la composante en courant continu du cycle de tension appliquée.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 61378. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision, et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 61378 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-dessous. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des normes internationales en vigueur.

CEI 60050(421):1990, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Chapitre 421: Transformateurs de puissance et bobines d'inductance*

This standard only deals with transformers with one active part and one interphase transformer. For several active parts in the same tank, an agreement between the purchaser and manufacturer is necessary regarding the determination and the measurement of the total losses.

This standard deals only with transformer star Y and delta Δ connections. For other connections an agreement between purchaser and manufacturer is necessary.

1.2 Classification

Classification of convertors and convertor applications are given in 1.3 of IEC 60146-1-1 and in 1.2 of IEC 60146-1-2. From the aspect of transformer design, it is important to distinguish between

- applications with essentially sinusoidal voltage across the transformer, and
- applications with non-sinusoidal voltage where the transformer primary is energized from a convertor circuit for a.c. power control or variable frequency conversion.

It is also important to distinguish between

- applications characterized by a continuous load, such as electrolysis, d.c. arc furnace etc., and
- applications with short-time cyclic or irregular load variation, such as reversible mill-motor drives, etc.

It is required that information about the convertor application be supplied in the transformer specification. This is detailed further in following subclauses of this standard.

1.3 Normal service conditions

Normal service conditions for the transformer shall be in accordance with IEC 60076-1, IEC 60076-2, IEC 60726 and IEC 60146-1-1.

It is required that any deviation of the a.c. voltage from the rated voltage value or tapping voltage value, sinusoidal wave shape or three-phase symmetry be within the limits of immunity class B, according to 2.5 of IEC 60146-1-1. If the convertor transformer is supplied with non-sinusoidal voltage, inverter or frequency convertor application, it is necessary that information on the range of variation of service voltage shape and frequency variation be submitted in the specification. It is also important that information be given regarding the d.c. component of the applied voltage cycle.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 61378. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 61378 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60050(421):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 421: Power transformers and reactors*

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

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

CEI 60076-3:1980, *Transformateurs de puissance – Partie 3 : Niveaux d'isolement et essais diélectriques*

CEI 60076-5:1976, *Transformateurs de puissance – Partie 5 : Tenue au court-circuit*

CEI 60146-1-1:1991, *Convertisseurs à semiconducteurs – Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-1: Spécifications des clauses techniques de base*

CEI 60146-1-2:1991, *Convertisseurs à semiconducteurs – Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-2: Guide d'application*

CEI 60289:1988, *Bobines d'inductance*

CEI 60354:1991, *Guide de charge pour transformateurs de puissance immergés dans l'huile*

CEI 60076-8:1997, *Guide d'application pour transformateurs de puissance*

CEI 60726:1982, *Transformateurs de puissance de type sec*

CEI 60905:1987, *Guide de charge pour transformateurs de puissance du type sec*

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

IEC 60076-2:1993, *Power transformers – Part 2: Temperature rise*

IEC 60076-3:1980, *Power transformers – Part 3: Insulation levels and dielectric tests*

IEC 60076-5 :1976, *Power transformers – Part 5: Ability to withstand short circuit*

IEC 60146-1-1:1991, *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated convertors – Part 1-1: Specifications of basic requirements*

IEC 60146-1-2:1992, *Semiconductor convertors – General requirements and line commutated convertors – Part 1-2: Application guide*

IEC 60289:1988, *Reactors*

IEC 60354:1991, *Loading guide for oil-immersed power transformers*

IEC 60076-8:1997, *Application guide for power transformers*

IEC 60726:1982, *Dry-type power transformers*

IEC 60905:1987, *Loading guide for dry-type power transformers*