

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
146-1-3**

Troisième édition
Third edition
1991-03

**Convertisseurs à semiconducteurs
Spécifications communes et
convertisseurs commutés par le réseau**

Partie 1-3:
Transformateurs et bobines d'inductance

**Semiconductor convertors
General requirements and
line commutated convertors**

Part 1-3:
Transformers and reactors



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 146-1-3: 1991

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
146-1-3**

Troisième édition
Third edition
1991-03

**Convertisseurs à semiconducteurs
Spécifications communes et
convertisseurs commutés par le réseau**

**Partie 1-3:
Transformateurs et bobines d'inductance**

**Semiconductor convertors
General requirements and
line commutated convertors**

**Part 1-3:
Transformers and reactors**

© CEI 1991 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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

**CODE PRIX
PRICE CODE**

M

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application	6
2 Références normatives	6
3 Valeurs assignées des transformateurs pour convertisseurs	8
3.1 Valeurs assignées de courant	8
3.2 Limites de température des fluides de refroidissement	8
4 Pertes et chutes de tension dans les transformateurs et les bobines d'inductance	10
4.1 Pertes dans les enroulements du transformateur	10
4.2 Pertes dans les bobines d'absorption, inductances d'équilibrage du courant, inductances d'égalisation, transducteurs et autres dispositifs de régulation du courant	10
4.3 Chutes de tension dans les transformateurs et les inductances	12
5 Essais des transformateurs de convertisseurs	12
5.1 Mesure de la réactance de commutation et détermination de la chute inductive de tension (essai de type)	12
5.2 Essai en court-circuit (essai de type et essai individuel)	14
5.3 Essai d'échauffement (essai de type)	16
Annexe A (normative)	24
Corrections à appliquer lorsque la température du fluide de refroidissement est supérieure à la valeur normale	24
Tableaux	
1 - Limites d'échauffement	18
2 - Montages et facteurs de calcul	20

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Rated values for convertor transformers	9
3.1 Rated current values	9
3.2 Temperature limits of cooling media	9
4 Losses and voltage drops in transformers and reactors	11
4.1 Losses in the transformer windings	11
4.2 Losses in interphase transformers, current balancing reactors, series-smoothing reactors, transductors and other current regulating accessories	11
4.3 Voltage drops in transformers and reactors	13
5 Tests for convertor transformers	13
5.1 Measurement of commutating reactance and determination of inductive voltage drop (type test)	13
5.2 Short-circuit test (type test and routine test)	15
5.3 Temperature rise test (type test)	17
Annex A (normative)	25
Corrections to be applied when cooling medium temperature is higher than standard	25
Tables	
1 - Temperature rise limits	19
2 - Connections and calculation factors	21

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONVERTISSEURS À SEMICONDUCTEURS**Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau
Partie 1-3: Transformateurs et bobines d'inductance**

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 22B: Convertisseurs à semiconducteurs, du Comité d'Etudes n° 22 de la CEI: Electronique de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote	Procédure de Deux Mois	Rapport de vote
22B(BC)17	22B(BC)19	22B(BC)22	22B(BC)23,23A

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme, qui constitue la partie 1-3 de la nouvelle édition de la CEI 146 et remplace en partie la CEI 146 (1973) ainsi que sa Modification n° 1 (1975).

La CEI 146 (1973) a été remplacée par les CEI 146-1-1 et 146-1-2, sauf en ce qui concerne les transformateurs et bobines d'inductance, qui faisaient l'objet du chapitre III. Ce dernier est donc présenté ici avec les corrections appropriées des références et renvois. Par souci d'homogénéité, la présente partie 1-3 reprend dans son tableau 2 le tableau 1 de la CEI 146-1-2 (tableau II dans l'édition précédente) ainsi que, dans son annexe A (normative), l'annexe C de la précédente édition.

NOTE - Le Comité d'Etudes n° 14 de la CEI: Transformateurs de puissance, prépare actuellement une spécification complètement révisée pour les transformateurs de convertisseurs.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR CONVERTORS

General requirements and line commutated convertors
Part 1-3: Transformers and reactors

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subject dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This standard has been prepared by Sub-Committee 22B: Semiconductor Convertors, IEC Technical Committee No. 22: Power Electronics.

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

Six Months' Rule	Report on the Voting	Two Months' Procedure	Report on the Voting
22B(CO)17	22B(CO)19	22B(CO)22	22B(CO)23,23A

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the Voting Reports indicated in the above table. It constitutes Part 1-3 of the new edition of IEC 146 and partly replaces IEC 146 (1973) and its Amendment No. 1 (1975).

IEC 146 (1973) has been superseded by Publications 146-1-1 and 146-1-2 except for the specification regarding transformers and reactors in Chapter III. This chapter is now printed in this part with the cross references suitably adjusted. For completeness, table 2 (which is table 1 in IEC 146-1-2 and was table II in the previous issue) and also Annex A (Appendix C in the previous issue) have been included in this part 1-3.

NOTE - A completely revised convertor transformer specification is being prepared by IEC Technical Committee No. 14: Power transformers.

CONVERTISSEURS À SEMICONDUCTEURS

Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau Partie 1-3: Transformateurs et bobines d'inductance

1 Domaine d'application

La présente partie 1-3 de la Norme internationale est applicable, en général, aux caractéristiques des transformateurs pour convertisseurs qui diffèrent de celles des transformateurs de puissance ordinaires. Dans tous les autres cas, les règles données dans la CEI 76 s'appliquent aux transformateurs pour convertisseurs dans la mesure où elles ne sont pas en contradiction avec cette norme.

Il convient de tenir compte du fait qu'un transformateur pour redresseur fonctionne avec un courant dont la forme d'onde n'est pas sinusoïdale. Dans le couplage à simple voie, le courant parcourant chaque enroulement de cellule comporte une composante continue dont il doit être tenu compte pour la construction et les essais. Dans certains cas, une construction spéciale s'impose lorsque des courts-circuits extérieurs et des avaries de cellules provoqueraient une contrainte anormale.

Pour certains types de transformateurs, la forme d'onde de la tension de fonctionnement normale n'est pas sinusoïdale. Les pertes dans le fer de ces transformateurs se déterminent en appliquant une tension sinusoïdale de même valeur moyenne arithmétique pour un demi-cycle et de même fréquence fondamentale que la tension appliquée en service.

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication de cette norme, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur cette Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 76: 1967, *Transformateurs de puissance*

CEI 146-1-1: 1991, *Convertisseurs à semiconducteurs - Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau - Partie 1-1: Spécifications des clauses techniques de base.*

CEI 146-1-2: 1991, *Convertisseurs à semiconducteurs - Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau - Partie 1-2: Guide d'application.*

SEMICONDUCTOR CONVERTORS

General requirements and line commutated convertors Part 1-3: Transformers and reactors

1 Scope

This Part 1-3 of the International Standard relates, in general, to those characteristics wherein convertor transformers differ from ordinary power transformers. In all other respects, the rules specified in IEC 76 shall apply to convertor transformers also, as far as they are not in contradiction with this standard.

It should be borne in mind that a rectifier transformer operates with non-sinusoidal current waveshape. In single-way connection, the current in each cell winding contains a d.c. component which calls for special attention in design and testing. In some cases, a special design is necessary when external short-circuits and cell failures would cause abnormal stress.

For certain types of transformers, the waveshape of the normal operating voltage is non-sinusoidal. The core loss of such equipment is to be determined by applying a sinusoidal voltage having the same half-cycle arithmetic mean value and the same fundamental frequency as the voltage applied in service.

2 Normative references

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

IEC 76: 1967, *Power transformers*.

IEC 146-1-1: 1991, *Semiconductor convertors - General requirements and line commutated convertors - Part 1-1*, IEC 146-1-1, Specifications of basic requirements.

IEC 146-1-2: 1991, *Semiconductor convertors - General requirements and line commutated convertors - Part 1-2*: Application guide.

3 Valeurs assignées des transformateurs pour convertisseurs

3.1 Valeurs assignées de courant

3.1.1 Convertisseurs simples ou convertisseurs doubles avec un seul enroulement commun côté cellules

Le transformateur de convertisseur doit être capable de supporter en permanence le courant correspondant au courant continu assigné du convertisseur, suivi de l'application de son courant de surcharge, quand c'est spécifié, pendant la durée spécifiée (voir CEI 146-1-1, 3.10.3.5) et pour la température maximale du fluide de refroidissement, sans dépasser des limites d'échauffement.

3.1.2 Convertisseurs doubles avec enroulements côté cellules séparés pour chacun des blocs de thyristors

Le transformateur de convertisseur doit être capable de supporter en permanence, sans dépasser ses limites d'échauffement dans chacun des enroulements, le courant correspondant au courant continu assigné du convertisseur, suivi de l'application de son courant de surcharge pendant la durée spécifiée (voir CEI 146-1-1, 3.10.3.5) et pour la température maximale du fluide de refroidissement.

Dans les cas où un enroulement côté réseau est commun aux deux enroulements côté cellules, le courant doit être déterminé selon le paragraphe 3.1.1.

3.2 Limites de température des fluides de refroidissement

Les limites d'échauffement des enroulements sont spécifiées en 5.3.

3.2.1 Equipement extérieur avec refroidissement à air

Le transformateur de convertisseur doit être prévu pour fonctionner à une température ambiante n'excédant pas $+40^{\circ}\text{C}$, pour une température moyenne annuelle n'excédant pas $+20^{\circ}\text{C}$ et avec une valeur moyenne n'excédant pas $+30^{\circ}\text{C}$ sur toute période de 24 h.

3.2.2 Equipement intérieur avec refroidissement à air

Le transformateur de convertisseur doit être prévu pour fonctionner à une température ambiante de $+40^{\circ}\text{C}$.

3.2.3 Equipement avec refroidissement à eau

Le transformateur de convertisseur doit être prévu pour fonctionner à une température d'eau à l'entrée n'excédant pas $+25^{\circ}\text{C}$.

3 Rated values for convertor transformers

3.1 Rated current values

3.1.1 Single convertor or double convertor supplied from one common cell winding

The convertor transformer shall be capable of carrying current corresponding to rated direct current of the convertor continuously, followed by overload current (where specified) for the specified duration (See IEC 146-1-1, 3.10.3.5), at maximum cooling temperatures without exceeding its thermal limit.

3.1.2 Double convertor where each thyristor assembly has separate cell windings

The convertor transformer shall be capable of carrying in each secondary group the appropriate current corresponding to rated direct current of the convertor continuously, followed by overload current for the specified duration (See IEC 146-1-1, 3.10.3.5), at maximum cooling temperatures without exceeding its thermal limit.

Where common line windings are used for the two secondary windings, these should be rated as in 3.1.1.

3.2 Temperature limits of cooling media

Temperature rise limits are specified in 5.3.

3.2.1 Air cooled outdoor equipment

The convertor transformer shall be designed to operate at an ambient air temperature which does not exceed $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, does not average more than $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ over a year and does not average more than $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ for any 24 h period.

3.2.2 Air cooled indoor equipment

The convertor transformer shall be designed to operate in an ambient air temperature of $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.2.3 Water cooled equipment

The convertor transformer shall be designed to operate with incoming cooling water temperature which does not exceed $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4 Pertes et chutes de tension dans les transformateurs et les bobines d'inductance

4.1 Pertes dans les enroulements du transformateur

Les pertes dans les enroulements qui se manifestent aux conditions normales de service comprennent les pertes résistives dans le cuivre et les pertes supplémentaires (fonction de la fréquence) dues aux courants de Foucault, ou au flux de dispersion dans les enroulements et les parties constructives. En raison des harmoniques, il serait nécessaire, pour mesurer les pertes réelles dans les enroulements, que le transformateur soit en service normal avec le bloc.

Cette méthode de mesure ne peut être recommandée, du fait de sa complication et de son imprécision, que si les pertes du transformateur et du bloc sont mesurées pendant un seul essai. Dans ce cas et pour des unités n'excédant pas une puissance de sortie assignée de 300 kW, les pertes peuvent être mesurées pendant le fonctionnement à la charge assignée.

Dans tous les autres cas, les pertes dans les enroulements sont calculées à partir des résultats de mesures en court-circuit effectuées avec des courants sinusoïdaux. Cette méthode est basée sur le passage dans les enroulements de courants sinusoïdaux de même valeur efficace que ceux qui existeraient en fonctionnement avec l'assemblage en négligeant l'empiétement (voir tableau 2).

Du fait qu'en service normal avec le bloc, les valeurs efficaces du courant sont légèrement plus faibles que lors de l'essai, on observe une erreur positive. Celle-ci est supposée compensée par l'erreur négative résultant du fait qu'on néglige les pertes parasites additionnelles provenant des harmoniques en service avec le bloc.

4.2 Pertes dans les bobines d'absorption, inductances d'équilibrage du courant, inductances d'égalisation, transducteurs et autres dispositifs de régulation du courant

4.2.1 Bobine d'absorption

Le constructeur doit mesurer les pertes dans le fer à une fréquence et à une tension calculées de façon à fournir un flux magnétique correspondant au fonctionnement du convertisseur au courant assigné, à la tension assignée et à la valeur du déphasage spécifiée, corrigée à la fréquence disponible la plus rapprochée de la fréquence principale de la bobine d'absorption.

Les pertes dans l'enroulement se calculent en multipliant la résistance en courant continu par le carré du courant continu dans l'enroulement.

4.2.2 Inductances d'équilibrage du courant

Par convention les pertes dans le fer des inductances d'équilibrage du courant sont négligées.

Les pertes dans l'enroulement font partie de la mesure des pertes totales du convertisseur ou sont calculées en multipliant la résistance mesurée en courant continu par le carré du courant efficace dans l'enroulement, calculé en se basant sur une forme d'onde rectangulaire du courant.

4 Losses and voltage drops in transformers and reactors

4.1 Losses in the transformer windings

The losses in the windings which appear under normal service conditions are composed of the losses in the winding resistance as measured by d.c. and the additional losses (depending on frequency) caused by eddy currents as well as the stray flux in the windings and in the construction parts. Due to the harmonics, the actual losses in the windings would require to be measured with the transformer in normal operation with the assembly.

This method of measurement cannot be recommended because it is too complicated and inaccurate, unless total losses of transformer and assembly are taken as one measurement. In such cases and for units not exceeding a rated output of 300 kW, the losses may be measured at normal rated load operation.

In all other cases, the losses in the windings are to be calculated from the results of short-circuit measurement carried out with sinusoidal currents. The method is based on the passage of sinusoidal currents in the winding having the same r.m.s. values as those which would exist in operation with the assembly if the overlap was disregarded (see table 2).

Owing to the fact that the r.m.s. values of the currents during normal operation with the assembly are somewhat smaller than those in the test, a positive error is encountered. This positive error is assumed to be compensated for by the negative error resulting from the fact that the additional stray losses caused by the harmonics in operation with the assembly are disregarded.

4.2 Losses in interphase transformers, current balancing reactors, series-smoothing reactors, transductors and other current regulating accessories

4.2.1 Interphase transformers

The supplier shall measure the iron losses at a frequency and voltage calculated to provide the magnetic flux corresponding to operation of the convertor at rated current, voltage and specified phase control, corrected to the available frequency nearest to the principal frequency of the interphase transformer.

The losses in the winding are to be calculated as the product of the d.c. resistance and the square of the direct current in the winding.

4.2.2 Current balancing reactors

The iron losses in current balancing reactors are by convention to be ignored.

The losses in the winding are either a part of the convertor loss measurement or calculated as the product of the d.c. measured resistance and the square of the r.m.s. current in the winding, calculated on the basis of rectangular shaped current waveform.

4.2.3 Inductances d'égalisation

Par convention les pertes dans le fer sont négligées.

Les pertes dans l'enroulement font partie de la mesure des pertes totales du convertisseur ou sont calculées en multipliant la résistance mesurée en courant continu par le carré du courant continu qui passe dans l'enroulement.

4.2.4 Transducteurs et autres dispositifs de régulation du courant

Les pertes dans le fer doivent être mesurées ou calculées pour un flux magnétique correspondant au fonctionnement du convertisseur au courant assigné, à la tension assignée côté réseau et à la tension continue spécifiée. La mesure est faite à une fréquence ramenée à la fréquence réalisable la plus proche de la fréquence principale du flux dans le noyau du transducteur.

Les pertes dans l'enroulement de puissance se calculent en multipliant la résistance mesurée en courant continu par le carré du courant efficace dans l'enroulement, calculé en se basant sur une forme d'onde idéale du courant (en négligeant les inductances de fuite). Lorsque l'enroulement de puissance est constitué par des conducteurs massifs, il y a lieu d'estimer par le calcul les pertes supplémentaires additionnelles et de les ajouter.

NOTE - Ces pertes sont destinées à entrer dans les calculs de rendement, mais pas dans le projet de construction.

4.3 Chutes de tension dans les transformateurs et les inductances

Les chutes de tension sont calculées à partir des mesures et des formules données en 3.5 par la CEI 146-1-1.

5 Essais des transformateurs de convertisseurs

Tous les essais spécifiés pour les transformateurs de puissance dans la CEI 76 s'appliquent aussi aux transformateurs de convertisseurs s'ils ne sont pas en contradiction avec les essais spécifiés dans cet article. Les essais spécifiés ci-dessous doivent être considérés comme additionnels ou spéciaux aux transformateurs pour convertisseurs.

5.1 Mesure de la réactance de commutation et détermination de la chute inductive de tension (essai de type)

5.1.1 Réactance de commutation

Pour mesurer la réactance de commutation, les bornes côté réseau du transformateur sont court-circuitées. On fait circuler, entre deux phases commutantes consécutives d'un même groupe commutant, un courant à la fréquence assignée et on mesure la tension entre les bornes (côté diodes) ainsi alimentées. La réactance de commutation $2 \times X_t$ est égale à la composante inductive de l'impédance tirée de cette mesure. Il convient d'effectuer au moins deux essais avec des paires de phases différentes dans chaque groupe commutant et de prendre la moyenne arithmétique de ces mesures.

4.2.3 *Series-smoothing reactors*

The iron losses are, by convention, to be ignored.

The losses in the winding are either a part of the converter loss measurement or calculated as the product of the d.c. resistance and the square of the direct current in the winding.

4.2.4 *Transducers and other current regulating accessories*

The iron losses shall be measured or calculated at magnetic flux conditions corresponding to operation of the converter at rated current, rated line voltage and specified direct voltage. Measurement is made at a frequency corrected to the available frequency nearest to the principal frequency nearest of the transducer core flux.

The losses in the power winding are to be calculated as the product of the d.c. measured resistance and the square of the r.m.s. current in the winding, calculated on the basis of idealized current waveform (ignoring stray inductances). When the power winding consists of heavy conductors, the eddy current losses should be estimated by calculation and added.

NOTE - These losses are for use in efficiency calculations and not for design.

4.3 *Voltage drops in transformers and reactors*

The voltage drops are calculated from the loss measurements by the formulae given in 3.5 of IEC 146-1-1.

5 **Tests for converter transformers**

All tests specified for power transformers in IEC 76 shall apply to converter transformers if not in contradiction with the tests specified in this clause. The tests specified below are to be regarded as additional or special tests applicable to converter transformers.

5.1 *Measurement of commutating reactance and determination of inductive voltage drop (type test)*

5.1.1 *Commutating reactance*

To measure commutating reactance, the line-side terminals of the transformer are short-circuited. An alternating current of rated frequency is passed through two consecutive phases of the same commutating group of the cell winding and the voltage between the terminals thus fed is measured. The commutating reactance $2 \times X_t$ is equal to the inductive component of the impedance calculated from this measurement. At least two tests should be carried out with different pairs of phases in each commutating group and the arithmetic mean value of these measurements is taken.

Un même primaire peut alimenter un ensemble de groupes commutants débitant en parallèle ou en série et dont les commutations sont simultanées. Dans ce cas, les enroulements côté cellules correspondant à ces groupes doivent être couplés phase par phase en parallèle, pour les essais ci-dessus.

5.1.2 Chute inductive de tension

La chute inductive de tension peut être calculée à partir de la valeur de X_t au moyen de la formule suivante:

$$d_{xtN} = \frac{\delta \times q \times s}{2 \times \pi \times g} \times X_t \times \frac{I_{dN}}{U_{di0}}$$

dans laquelle

- g nombre d'ensembles de groupes commutants entre lesquels se partage I_{dN} ;
- I_{dN} courant continu assigné;
- q indice de commutation;
- s nombre de groupes commutants en série;
- U_{di0} tension continue fictive à vide;
- δ nombre de groupes commutants par primaire, en commutation simultanée;

Elle peut aussi se déduire de l'essai du 5.1.1 en faisant circuler, lors de cet essai, un courant de valeur efficace:

$$\frac{\sqrt{2}}{4} \times \frac{\delta}{g} \times I_{dN}$$

Dans ce cas, la composante inductive de la tension d'entrée, exprimée en valeur réduite de la tension assignée entre bornes U_{v0} , représente la chute inductive de tension d_{xt1} .

Pour les montages donnés dans le tableau 2, cette chute inductive peut être déduite de l'essai en court-circuit tel que spécifié dans la colonne 17, à l'exception des montages nos 3, 4, 6, 9 et 12 pour lesquels l'essai de court-circuit spécifié au 5.1.1 est recommandé (voir la CEI 146-1-2, 1.5.4).

Si les courants secondaires sont trop élevés, cette méthode ne peut pas être appliquée; toute autre méthode équivalente comportant la mise en court-circuit d'enroulements côté cellules peut alors être utilisée.

5.2 Essai en court-circuit (essai de type et essai individuel)

L'essai est réalisé en vue d'obtenir les pertes totales dans les enroulements du transformateur.

The same line winding may feed a commutating group assembly connected in parallel or in series and which commutates simultaneously. In this case, the cell windings corresponding to these groups shall be connected phase by phase in parallel for the above tests.

5.1.2 Inductive voltage regulation

The inductive voltage regulation can be calculated from the value of X_t by means of the following formula:

$$d_{xtN} = \frac{\delta \times q \times s}{2 \times \pi \times g} \times X_t \times \frac{I_{dN}}{U_{di0}}$$

where

- g number of sets of commutating groups between which I_{dN} is divided;
- I_{dN} rated direct current;
- q commutation number;
- s number of commutating groups in series;
- U_{di0} ideal no-load direct voltage;
- δ number of commutating groups commutating simultaneously per primary.

It can also be obtained from the test described in 5.1.1 by passing during the test a current with an r.m.s. value of:

$$\frac{\sqrt{2}}{4} \times \frac{\delta}{g} \times I_{dN}$$

In this case, the inductive component of the input voltage expressed in p.u. of the rated voltage between terminals U_{v0} , represents the inductive voltage regulation d_{xt1} .

For connections given in table 2, the inductive voltage regulation can be calculated from the results of secondary short-circuit tests specified in column 17, with the exception of connections Nos. 3, 4, 6, 9 and 12 for which the short-circuit test specified in 5.1.1 is recommended (see IEC 146-1-2, 1.5.4).

If the secondary currents are too high, this method cannot be applied; any other equivalent method comprising a winding short-circuit on the cell may then be used.

5.2 Short-circuit test (type test and routine test)

The test is performed to obtain the total losses in the transformer windings.

Les essais à faire et les connexions convenables de court-circuit pour les montages les plus usuels sont indiqués dans le tableau 2. Les courants dans les enroulements doivent être sinusoïdaux et de même valeur efficace dans les conducteurs de ligne que ceux qui correspondraient en service normal au courant continu assigné en négligeant l'angle d'empiètement et à la fréquence assignée.

Pour chacun des essais en court-circuit A, B et C respectivement, les puissances d'entrée doivent être mesurées. Ces dernières sont désignées par P_A , P_B et P_C respectivement et les pertes totales sont calculées selon la formule donnée dans le tableau 2.

Les pertes mesurées dans les enroulements doivent être ramenées à une température correspondant à la valeur limite spécifiée (tableau 1) plus 20 °C.

5.3 Essai d'échauffement (essai de type)

Une mesure de l'échauffement des enroulements de transformateur doit être faite après une charge permanente égale à la charge assignée. L'échauffement ne doit pas dépasser les valeurs données dans le tableau 1 ci-dessous.

Les valeurs du tableau 1 sont basées sur les températures ambiantes et du fluide de refroidissement spécifiées dans 3.2 et pour un fonctionnement à une altitude inférieure à 1 000 mètres. Les corrections à faire pour des températures plus élevées du fluide de refroidissement sont données dans l'annexe A.

The tests to be made and appropriate short-circuit connections for the most commonly used connections are indicated in table 2. The currents in the windings shall be sinusoidal with the same r.m.s. values in the line leads as would exist in normal operation at rated direct current if the overlap is disregarded and at rated frequency.

For each short-circuit test A, B and C respectively, the power inputs shall be measured. The power inputs are designated P_A , P_B and P_C respectively and the total losses are calculated according to the formulae given in table 2.

The measured losses in the windings are to be corrected to a temperature of specified limit value (table 1) plus 20 °C.

5.3 Temperature rise test (type test)

A temperature rise measurement of the transformer windings shall be made after continuous application of rated load. The temperature rise shall not exceed the values given in table 1.

The values in table 1 are based on ambient and cooling medium temperatures specified in 3.2 and operation at an altitude not greater than 1 000 metres. Corrections to be applied at higher cooling medium temperatures are given in annex A.

Tableau 1 - Limites d'échauffement

Classe de service 1)	Fluide de refroidis- sement du transfor- mateur	Classe de tempéra- ture du transforma- teur	Limite d'échauffement de l'enroulement en K (mesure par résistance)	
			1	2
I et II	Air	A	60	55
		B	80	80
		H	125	150
	Huile	A	65	55
		A+	-	65
III	Air	A	55	55
		B	70	80
		H	110	150
	Huile	A	65	55
		A+	-	65
IV	Air	A	50	50
		B	65	80
		H	100	150
	Huile	A	60	55
		A+	-	65
V	Air	A	45	45
		B	60	75
		H	90	140
	Huile	A	50	50
		A+	-	60
VI	Air	A	40	40
		B	55	70
		H	85	130
	Huile	A	50	50
		A+	-	60

1) Voir la CEI 146-1-1, tableau 2.

NOTES

- 1 Les limites d'échauffement données dans les colonnes 1 et 2 reflètent deux pratiques et conditions climatiques différentes dans deux parties du monde différentes. Il est demandé aux Comités d'Etudes traitant des transformateurs d'étudier le problème en vue de concilier les différences, si cela est techniquement faisable.
- 2 Les valeurs d'échauffement sont basées sur une température maximale de +40°C, pour une température moyenne annuelle n'excédant pas +20°C et une température moyenne journalière de +30°C.
- 3 On peut utiliser d'autres classes de transformateurs. Dans ce cas, et si les valeurs d'échauffement ne sont pas données dans le tableau, celles-ci doivent faire l'objet d'un accord entre utilisateur et fournisseur.
- 4 La classe de température A+ désigne un papier avec des qualités thermiques supérieures et pour une température locale admissible de +120°C.

Table 1 - Temperature rise limits

Converter duty class 1)	Transformer cooling medium	Transformer temperature class	Limit of winding temperature rise in K (measured by resistance)	
			1	2
I and II	Air	A B H	60 80 125	55 80 150
	Oil	A A+	65 -	55 65
III	Air	A B H	55 70 110	55 80 150
	Oil	A A+	65 -	55 65
IV	Air	A B H	50 65 100	50 80 150
	Oil	A A+	60 -	55 65
V	Air	A B H	45 60 90	45 75 140
	Oil	A A+	50 -	50 60
VI	Air	A B H	40 55 85	40 70 130
	Oil	A A+	50 -	50 60

1) Refer to IEC 146-1-1, table 2.

NOTES

1 Temperature rise limits given in columns 1 and 2 reflect two different practices and climatic conditions in different areas of the world. Technical Committees dealing with transformers will be asked to study the problem with a view to reconciling the differences if this is technically feasible.

2 The temperature rise figures are based on a maximum ambient temperature of +40 °C, with an average annual temperature not exceeding +20 °C and an average daily ambient temperature of +30 °C.

3 Other transformer temperature classes may be used. In such cases and when temperature rise figures are not shown in the table, these are to be agreed upon by user and supplier.

4 Temperature class A+ designates thermally upgraded paper with a permissible hot spot temperature of +120 °C.

Tableau 2 - Montages et facteurs de calcul

Remarque - Ce tableau est extrait de la CEI 146-1-2 comme tableau II de la CEI 146 (1973) sauf pour la modification des numéros de montage en colonne 1. Une version abrégée en est également donnée au tableau 1 de la CEI 146-1-1.

N° de montage	Couplage de transformateur		Couplage des valves	p	q	$\frac{6,9}{g}$ 1)	Facteur de courant côté réseau 2)	Facteur de courant côté valves 3)	$\frac{U_{41}}{U_{40}}$	$\frac{U_{41}}{U_{40}}$	$\frac{d_{XIN}}{e_{XIN}}$	Bornes à court-circuiter pour l'essai de mesure des pertes du transformateur			Pertes totales dans les enroulements en fonctionnement en convertisseur	Bornes à court-circuiter pour l'essai de mesure	
	Côté réseau	Côté valves										A	B	C			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Convertisseur simple, montage à une voie																	
1				2	2	2	0,5	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	0,707 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	0-1	0-2		0,5(P _A +P _B)	1-2	
2				3	3	3	0,471 $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0,866 $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	1-2-3			P _A +1/2P ₂ /3	1-2-3	
3				6	6	6	0,816 $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$	1,5 $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	1-3-5	2-4-6		0,75(P _A +P _B)	Moyenne des résultats 1-3-5 et 2-4-6	
4				6	6	6	0,816 $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$	1,5 $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	1-2	2-3	4-5	6-1	(P _A +2P _B +3P _C)/6	Moyenne des résultats 1-3-5 et 2-4-6
5				6	3	3/2	0,408 $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)$	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	0,5 $\left(\frac{1}{2\sqrt{3}}\right)$	1-3-5	2-4-6		0,5(P _A +P _B)	Moyenne des résultats 1-3-5 et 2-4-6	
6				6	2	2/3	0,272 $\left(\frac{1}{3\sqrt{2}}\right)$	$\frac{1}{3\sqrt{2}}$	$\frac{1}{3\sqrt{2}}$	$\frac{1}{3\sqrt{2}}$	0,75 $\left(\frac{1}{3\sqrt{2}}\right)$	1-3-5	2-4-6		1,125(P _A +P _B)/2	1-4 2-5 3-6	
Convertisseur simple, montage homogène à deux voies																	
7				2	2	8	1	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	1,57 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$	1-2			P _A	1-2	
8				6	3	6	0,816 $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1,05 $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$	1-2-3			P _A	1-2-3	
9				12	3	3	0,789 $\left(\frac{1}{2\sqrt{3}}\right)$	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	$\frac{1}{2\sqrt{3}}$	1,05 $\left(\frac{1}{2\sqrt{3}}\right)$	1-3-5	2-4-6		0,035(P _A +P _B) + 0,93 P _C	Moyenne des résultats 1-3-5 et 2-4-6	

NOTES

1. 1-2, 1-7 et 1-8, 1-4.

2. Concerne le primaire du transformateur.

3. Concerne le secondaire du transformateur.

r₂ = résistance de l'un des trois enroulements de cellule.

NOTES
1 Voir 146-1-2, 1.7.2 et 1.8.1.4.
2 Concernant le primaire du transformateur.
3 Concernant le secondaire du transformateur.

² = résistance de l'un des trois enroulements de cellule.