



IEC 61378-1

Edition 2.0 2011-07

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Converter transformers –
Part 1: Transformers for industrial applications**

**Transformateurs de conversion -
Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XC**
CODE PRIX

ICS 29.180

ISBN 978-2-8322-1698-9

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references.....	9
3 Terms, definitions and acronyms.....	9
3.1 Terms and definitions	9
3.2 Acronyms	10
4 Classification.....	11
4.1 General.....	11
4.2 Normal service conditions.....	11
4.3 Provision for unusual service conditions.....	12
5 Ratings.....	12
5.1 General.....	12
5.2 Rated power at rated frequency and load capability.....	12
5.3 Rated and service voltages.....	13
5.3.1 Transformer energized from an a.c. power system	13
5.3.2 Transformer energized from a converter/inverter with or without variable frequency	13
5.4 Rated current	13
5.5 Phase displacement and terminal identification for three-phase transformer.....	13
5.6 Rating plate.....	14
5.7 Units with tertiary windings loaded with filter and compensation.....	14
5.8 On load tap-changers	15
6 Load loss and voltage drop in transformers and reactors.....	15
6.1 General.....	15
6.2 Determination of transformer load loss under distorted current loading.....	15
6.3 Current sharing, losses and hot spot in high current windings.....	19
6.4 Effect of geometrical winding arrangement and magnetic coupling between windings on their eddy current losses due to harmonics in transformers with three or more windings wound on the same core limb	20
6.5 Losses in interphase transformers, current-balancing reactors, series- smoothing reactors and transductors	26
6.5.1 General	26
6.5.2 Interphase transformers.....	26
6.5.3 Current-balancing reactors.....	26
6.5.4 Series-smoothing reactors	26
6.5.5 Transductors	26
6.6 Voltage drops in transformers and reactors.....	27
6.6.1 General	27
6.6.2 Transductors	28
7 Tests for converter transformers.....	29
7.1 General.....	29
7.2 Measurement of commutating reactance and determination of the inductive voltage drop	30
7.2.1 Commutating reactance	30
7.2.2 Inductive voltage regulation.....	30
7.3 Measurement of voltage ratio and phase displacement.....	31
7.4 Dielectric tests.....	31

7.4.1	General	31
7.4.2	Dielectric test between interleaved valve windings	31
7.5	Load loss test	32
7.5.1	General	32
7.5.2	Load loss measurement in rectifier transformers with transducers in the same tank	32
7.5.3	Test bus bars configuration for short circuit of high current valve windings	32
7.6	Temperature rise tests	32
7.6.1	General	32
7.6.2	Total loss injection	33
7.6.3	Rated load loss injection	33
7.6.4	Test of temperature rise on dry-type transformers	35
8	On load noise level with transducers and/or IPT	35
Annex A (informative) Determination of transformer service load loss at rated non-sinusoidal converter current from measurements with rated transformer current of fundamental frequency		38
Annex B (informative) Short-circuit test currents and load losses in transformers for single-way converters (total loss injection)		56
Annex C (informative) Current sharing measurement in high current valve windings		57
Annex D (informative) Examples of duty cycles		66
Annex E (informative) Guidelines for design review		67
Annex F (informative) Determination of loss in transformer tank due to magnetic field. 3D simulation and guidelines for tank losses evaluation and tank hotspot calculation		70
Annex G (informative) Short-circuit measurements of rectifier transformers equipped with built in transducers		71
Annex H (informative) Determination of the transformer voltage ratio and phase displacement by the turn ratio measurements		73
Annex I (informative) Phase displacement connections and terminal indications of converter transformers		78
Annex J (normative) Correlation between IEC 61378-1 and IEC 60146-1-1 ratings		83
Bibliography		90
Figure 1 – B6U or DB 6 pulse double bridge connection		10
Figure 2 – DSS 6 pulse connection		11
Figure 3 – Leakage fields for a three-winding transformer with closely coupled valve windings		22
Figure 4 – Leakage fields for a three-winding transformer with decoupled valve windings		23
Figure 5 – Leakage fields for a three winding transformer with loosely coupled double concentric valve windings		24
Figure 6 – Leakage fields for a three winding transformer with loosely coupled double-tier valve windings		25
Figure 7 – Typical transducer regulating curve (with max voltage drop at zero control current) and tolerance band		28
Figure A.1 – Cross-section of a winding strand		40
Figure A.2 – Terminal identification for winding connection Y y0y6		43
Figure A.3 – Terminal identification for winding connection D d0y1		46
Figure A.4 – Valve current DB connection rectangular shape positive shape		47

Figure A.5 – Valve current DB connection rectangular shape positive and negative shape.....	48
Figure A.6 – Valve current DSS connection rectangular shape.....	52
Figure C.1 – Example of valve high current winding and measurement equipment disposition	58
Figure C.2 – Transformer windings arrangement	59
Figure C.3 – Measurement circuit for the in-phase measurement.....	60
Figure C.4 – Measurement circuit for the in-opposition measurement.....	61
Figure C.5 – Measurements and comparison with the simulations made by finite element method software for the in-phase current distribution.....	63
Figure C.6 – Measurements and comparison with the simulations made by finite element method software for the in-opposition current distribution	65
Figure H.1 – Yd1 connection	74
Figure H.2 – Yd11 connection	74
Figure H.3 – Pd0+7,5 connection.....	75
Figure H.4 – Oscilloscope connection.....	76
Figure H.5 – Oscilloscope with phase B + 7,5 ° lag referring to phase A.....	76
Figure H.6 – Oscilloscope with phase B – 7,5 ° lead referring to phase A.....	77
Figure I.1 – Counterclockwise phase displacement.....	78
Figure I.2 – Yd11 connection.....	78
Figure I.3 – Yd1 connection.....	78
Figure I.4 – Example I.1 phase displacement.....	79
Figure I.5 – Example I.2 phase displacement.....	79
Figure J.1 – DB connection ideal rectangular current blocks	83
Figure J.2 – DSS Connection rectangular current blocks.....	84
Table 1 – Connections and calculation factors	36
Table A.1 – Specified harmonic currents and phase displacement in the valve windings.....	41
Table A.2 – Resistance measurements at 20 °C winding temperature	42
Table A.3 – Specified harmonic currents and phase displacement in the line and valve windings.....	45
Table A.4 – Measurements from test report	46
Table A.5 – Resulting current harmonics	48
Table A.6 – Resulting current harmonics	49
Table A.7 – Resulting current harmonics	50
Table A.8 – Detailed transformer load losses at rated tap position, with tertiary unloaded.....	51
Table A.9 – Resulting current harmonics	52
Table A.10 – Specified harmonic currents and phase displacement in the line and valve windings.....	53
Table A.11 – Resulting current harmonics	54
Table A.12 – Detailed transformer load losses at rated tap position, with tertiary unloaded.....	55
Table C.1 – Measurements and comparison with the simulations made by finite element method software for the in-phase current distribution.....	62
Table C.2 – Measurements and comparison with the simulations made by finite element method software for the in-opposition current distribution	64

Table D.1 – Examples of duty cycles for different applications 66

Table H.1 – Single phase ratio measurements 73

Table J.1 – Harmonics content up to 25th in DB 6 pulse connection (ideal rectangular current waveshape)..... 84

Table J.2 – Harmonics content up to 25th in DSS 6 pulse connection (ideal rectangular current waveshape)..... 85

Table J.3 – Calculation factor comparison example 86

Table J.4 – Calculation factor comparison general factors 87

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CONVERTER TRANSFORMERS –

Part 1: Transformers for industrial applications

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61378-1 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

This bilingual version (2014-07) corresponds to the English version, published in 2011-07.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1997. It constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- addition of winding connections (zig-zag, extended delta, etc.) with phase displacement ($< 30^\circ$);
- addition of transformers with more than one active part in the same tank;
- change of reference power definition (it is now based on fundamental component of the current);

- addition of considerations for guidelines for OLTC selection;
- addition of regulating transformer feeding converter transformer;
- addition of considerations about current sharing and hot spot temperature in high current windings for various winding arrangements;
- addition of transducers used for d.c. voltage regulation together with diode rectifiers;
- improved old annexes with several calculation examples;
- addition of new annexes for special measurements setups.

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

FDIS	Report on voting
14/686/FDIS	14/695/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.

The French version of this standard has not been voted upon.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 61378 series can be found, under the general title *Converter transformers*, on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

The contents of the corrigendum of January 2012 have been included in this copy.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

CONVERTER TRANSFORMERS –

Part 1: Transformers for industrial applications

1 Scope

This Part of IEC 61378 deals with the specification, design and testing of power transformers and reactors which are intended for integration within semiconductor converter plants; it is not applicable to transformers designed for industrial or public distribution of a.c. power in general.

The scope of this International Standard is limited to application of power converters of any power rating. Typical applications are: thyristor rectifiers for electrolysis; diode rectifiers for electrolysis; thyristor rectifiers for large drives; thyristor rectifiers for scrap melting furnaces, and diode rectifiers feeding inverters for variable speed drives. The standard also covers the regulating unit utilized in such application as step down regulating transformers or autotransformers. The valve winding highest voltage for equipment is limited to 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 converter plant (IEC 60146 series, or other publications dedicated to particular fields of application) may contain requirements of guarantees and tests (such as insulation and power loss) for the whole plant, including the converter 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 converter transformer itself as a separate component before being assembled with the remainder of the converter plant.

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

The converter 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 comply with IEC 60076 series for oil-immersed transformers, and with IEC 60076-11 for dry-type transformers.

NOTE For some converter applications, it is possible to use common distribution transformers of standard design. The use of such standard transformers in the special converter 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 60076-8:1997.

This standard deals with transformers with one or more active parts installed in the same tank like regulating (auto)transformer and one or two rectifier transformers. It also covers transformers with transducers and/or one or more interphase transformers.

For any combination not listed above an agreement between the purchaser and manufacturer is necessary regarding the determination and the measurement of the total losses.

This standard deals with transformers star Y and delta D and any other phase shifting connections (like zig-zag, extended delta, polygon etc.). Phase shifting windings can be placed on either the regulating or rectifier transformer.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

IEC 60076 (all parts), *Power transformers*

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

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

IEC 60076-3:2000, *Power transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air*

IEC 60076-6:2007, *Power transformers – Part 6: Reactors*

IEC 60076-8:1997, *Power transformers – Part 8: Application guide*

IEC 60076-11:2004, *Power transformers – Part 11: Dry-type transformers*

IEC 60146 (all parts), *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters*

IEC 60146-1-1:2009, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-1: Specifications of basic requirements*

IEC/TR 60146-1-2:2011, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-2: Application guide*

IEC/TR 60616:1978, *Terminal and tapping markings for power transformers*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	96
1 Domaine d'application	98
2 Références normatives	99
3 Termes, définitions et acronymes	99
3.1 Termes et définitions	99
3.2 Acronymes	100
4 Classification	101
4.1 Généralités	101
4.2 Conditions de service normal	102
4.3 Dispositions pour conditions de services exceptionnelles	102
5 Régimes assignés	102
5.1 Généralités	102
5.2 Puissance assignée à la fréquence assignée et capacité de charge	102
5.3 Tensions assignées et en service	103
5.3.1 Transformateur mis sous tension à partir d'un réseau de puissance en courant alternatif	103
5.3.2 Transformateur mis sous tension à partir d'un convertisseur/onduleur avec ou sans variation de fréquence	103
5.4 Courant assigné	103
5.5 Déphasage et identification des bornes pour le transformateur triphasé	103
5.6 Plaque signalétique	104
5.7 Unités avec enroulements tertiaires chargés avec filtre et compensation	105
5.8 Changeurs de prises en charge	105
6 Pertes dues à la charge et chute de tension dans les transformateurs et bobines d'inductance	105
6.1 Généralités	105
6.2 Détermination des pertes dues à la charge du transformateur en fonction de la distorsion du courant de charge	106
6.3 Répartition des courants, pertes et points chauds dans les enroulements à fort courant	110
6.4 Effet de la disposition géométrique des enroulements et du couplage magnétique entre eux sur les pertes parasites par courants de Foucault dues aux harmoniques dans les transformateurs à au moins trois enroulements bobinés sur une même colonne de circuit magnétique	111
6.5 Pertes dans les transformateurs d'interphase, dans les bobines d'inductance d'équilibrage de courant, dans les bobines d'inductance de lissage en série et dans les transducteurs magnétiques	117
6.5.1 Généralités	117
6.5.2 Transformateurs d'interphase	117
6.5.3 Bobines d'inductance d'équilibrage de courant	117
6.5.4 Bobines d'inductance de lissage en série	117
6.5.5 Transducteurs magnétiques	117
6.6 Chutes de tension dans les transformateurs et les bobines d'inductance	119
6.6.1 Généralités	119
6.6.2 Transducteurs magnétiques	119
7 Essais pour transformateurs de conversion	121
7.1 Généralités	121

7.2	Mesure de la réactance de commutation et détermination de la chute inductive de tension	121
7.2.1	Réactance de commutation	121
7.2.2	Variation inductive de tension.....	122
7.3	Mesure du rapport de transformation et du déphasage	122
7.4	Essais diélectriques	123
7.4.1	Généralités	123
7.4.2	Essai diélectrique entre enroulements de valve imbriqués	123
7.5	Essai de mesure des pertes dues à la charge	123
7.5.1	Généralités	123
7.5.2	Pertes dues à la charge dans les transformateurs de redressement avec transducteurs magnétiques dans la même cuve	124
7.5.3	Configuration des barres de connexion d'essai pour le court-circuit des enroulements de valve à fort courant	124
7.6	Essais d'échauffement.....	124
7.6.1	Généralités	124
7.6.2	Injection des pertes totales	125
7.6.3	Injection des pertes dues à la charge assignée.....	125
7.6.4	Essai d'échauffement d'un transformateur du type sec	127
8	Niveau acoustique en charge avec des transducteurs magnétiques et/ou IPT	127
	Annexe A (informative) 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	130
	Annexe B (informative) Courants d'essais de court-circuit et pertes dues à la charge des transformateurs pour convertisseurs à simple voie (injection des pertes totales)	150
	Annexe C (informative) Mesure de la répartition du courant dans les enroulements de valve à fort courant	151
	Annexe D (informative) Exemples de cycles de service.....	160
	Annexe E (informative) Lignes directrices pour la revue de conception	161
	Annexe F (informative) Détermination des pertes dues au flux de fuite dans la cuve du transformateur. Simulation en trois dimensions et lignes directrices pour l'évaluation des pertes dans la cuve et le calcul des points chauds de la cuve.....	164
	Annexe G (informative) Mesures en court-circuit des transformateurs de redresseur équipés de transducteurs magnétiques intégrés	165
	Annexe H (informative) Détermination du rapport des tensions (rapport de transformation) du transformateur et du déphasage par les mesures du rapport des nombres de spires	167
	Annexe I (informative) Connexions de déphasage et indications de bornes des transformateurs de conversion	172
	Annexe J (normative) Corrélation entre les régimes assignés selon l'IEC 61378-1 et l'IEC 60146-1-1	177
	Bibliographie	184
	Figure 1 – Montage de double pont hexaphasé B6U ou DB 6	101
	Figure 2 – Montage hexaphasé DSS.....	101
	Figure 3 – Champs de fuite pour transformateur à trois enroulements avec enroulements de valve fortement couplés	113
	Figure 4 – Champs de fuite pour transformateur à trois enroulements avec enroulements de valve découplés.....	114

Figure 5 – Champs de fuite pour un transformateur à trois enroulements avec enroulements de valve biconcentriques faiblement couplés	115
Figure 6 – Champs de fuite pour un transformateur à trois enroulements avec enroulements de valve double étage faiblement couplés	116
Figure 7 – Courbe type de régulation du transducteur magnétique (avec la chute de tension maximale au courant de commande nul) et bande de tolérances	120
Figure A.1 – Section d'un brin conducteur d'enroulement	132
Figure A.2 – Identification des bornes pour couplage d'enroulements Y y0y6	135
Figure A.3 – Identification des bornes pour couplage d'enroulements D d0y1	138
Figure A.4 – Forme rectangulaire de courant de valve dans une connexion DB: forme positive	139
Figure A.5 – Forme rectangulaire de courant de valve dans une connexion DB: formes positive et négative	140
Figure A.6 – Forme rectangulaire de courant de valve dans une connexion DSS	144
Figure C.1 – Exemple d'enroulement à fort courant et de disposition de l'équipement de mesure	152
Figure C.2 – Disposition des enroulements du transformateur	154
Figure C.3 – Circuit de mesure de la répartition des courants en phase	155
Figure C.4 – Circuit de mesure de la répartition des courants en opposition	155
Figure C.5 – Mesures et comparaison aux simulations réalisées par un logiciel utilisant la méthode des éléments finis pour la répartition des courants en phase	157
Figure C.6 – Mesures et comparaison aux simulations réalisées par un logiciel utilisant la méthode des éléments finis pour la répartition des courants en opposition	159
Figure H.1 – Couplage Yd1	168
Figure H.2 – Couplage Yd11	168
Figure H.3 – Couplage Pd0+7,5	169
Figure H.4 – Connexion d'oscilloscope	170
Figure H.5 – Oscilloscope avec la phase B en retard de + 7,5° par rapport à la phase A	170
Figure H.6 – Oscilloscope avec la phase B en avance de - 7,5° par rapport à la phase A	171
Figure I.1 – Déphasage dans le sens contraire des aiguilles d'une montre	172
Figure I.2 – Couplage Yd11	172
Figure I.3 – Couplage Yd1	172
Figure I.4 – Exemple I.1 déphasage	173
Figure I.5 – Exemple I.2 déphasage	173
Figure J.1 – Blocs de courants rectangulaires idéaux dans une connexion DB	177
Figure J.2 – Blocs de courants rectangulaires idéaux dans une connexion DSS	178
Tableau 1 – Montages et facteurs de calcul, partie 1	128
Tableau A.1 – Courants harmoniques et déphasages spécifiés dans les enroulements de valve	133
Tableau A.2 – Mesures des résistances à la température d'enroulement de 20 °C	134
Tableau A.3 – Courants harmoniques et déphasages spécifiés dans les enroulements de ligne et de valve	137
Tableau A.4 – Mesures issues du rapport d'essais	138
Tableau A.5 – Courants harmoniques résultants	140
Tableau A.6 – Courants harmoniques résultants	141
Tableau A.7 – Courants harmoniques résultants	141

Tableau A.8 – Détails des pertes dues à la charge du transformateur, position de prise assignée, tertiaire à vide	143
Tableau A.9 – Courants harmoniques résultants	145
Tableau A.10 – Courants harmoniques et déphasages spécifiés dans les enroulements de ligne et de valve	146
Tableau A.11 – Courants harmoniques résultants	147
Tableau A.12 – Détails des pertes dues à la charge du transformateur, position de prise assignée, tertiaire à vide	148
Tableau C.1 – Mesures et comparaison aux simulations réalisées par un logiciel utilisant la méthode des éléments finis pour la répartition des courants en phase	156
Tableau C.2 – Mesures et comparaison aux simulations réalisées par un logiciel utilisant la méthode des éléments finis pour la répartition des courants en opposition	158
Tableau D.1 – exemples de cycles de service pour différentes applications.	160
Tableau H.1 – Mesures des rapports en monophasé	167
Tableau J.1 – Contenu des harmoniques jusqu'à la 25 ^e dans une connexion DB hexaphasée (forme d'onde de courant rectangulaire idéale).....	178
Tableau J.2 – Contenu des harmoniques jusqu'à la 25 ^{ème} dans une connexion DSS hexaphasée (forme d'onde de courant rectangulaire idéale).....	179
Tableau J.3 Exemple de comparaison des facteurs de calcul.....	180
Tableau J.4 Facteurs généraux de comparaison des facteurs de calcul	181

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE CONVERSION -

Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles

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). 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 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. 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 la CEI. 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 la CEI. 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 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 L'IEC 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 L'IEC peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'IEC 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 IEC 61378-1 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1997. Elle constitue une révision technique.

Cette édition inclut les changements techniques significatifs suivants par rapport à la précédente édition :

- Addition de couplages d'enroulements (zigzag, triangle prolongé, etc.) avec déphasage (<30°).
- Addition de transformateurs ayant plus d'une partie active dans la même cuve.

- Changement de la définition de la puissance de référence (elle est désormais basée sur la composante fondamentale du courant).
- Addition de considérations pour des lignes directrices relatives à la sélection de changeurs de prise en charge (OLTC, On-Load Tap-Changers).
- Addition du transformateur de régulation alimentant un transformateur de conversion.
- Addition de considérations relatives à la répartition des courants et aux points chauds dans les enroulements à fort courant pour diverses dispositions d'enroulements.
- Addition de transducteurs magnétiques pour la régulation de tension continue avec des redresseurs à diodes
- Amélioration des anciennes annexes avec plusieurs exemples de calcul
- Additions de nouvelles annexes pour les montages de mesure spéciaux.

La présente version bilingue (2014-07) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2011-07.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 14/686/FDIS et 14/695/RVD.

Le rapport de vote 14/695/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61378 peut être consultée, sous le titre général *Transformateurs de conversion*, sur le site web de la CEI.

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 L'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. À cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Le contenu du corrigendum de janvier 2012 a été inclus dans cette version.

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 CONVERSION - Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61378 traite de la spécification, la conception et l'essai des transformateurs de puissance et des réacteurs qui sont destinés à l'intégration au sein des convertisseurs à semi-conducteurs, il n'est pas applicable aux transformateurs conçus pour la distribution industrielle ou publique de pouvoir a.c. en général.

Le domaine d'application de la présente norme est limité aux applications des convertisseurs de puissance, quelle que soit leur puissance assignée. Les applications types sont: redresseurs à thyristors pour électrolyse; redresseurs à diodes pour électrolyse; redresseurs à thyristors pour gros dispositifs d'entraînement; redresseurs à thyristors pour four de fusion de ferrailles; et redresseurs à diodes alimentant les onduleurs pour variateurs de vitesse. La norme couvre aussi les unités de régulation utilisées dans ces applications telles que les transformateurs ou les autotransformateurs de régulation. La tension maximale des enroulements de valve pour l'équipement est limitée à 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 (série IEC 60146 ou autres publications relatives à des champs particuliers d'application) peuvent contenir des exigences de garanties et d'essais (par exemple: isolement et niveaux de pertes d'énergie) 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 exigences 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 la présente norme peuvent être de conception immergée dans l'huile ou du type sec. À moins que des exceptions spécifiques ne soient énoncées dans la présente norme, les transformateurs sont conformes à la série IEC 60076 pour les transformateurs immergés dans l'huile et à l'IEC 60076-11 pour les transformateurs du type sec

NOTE 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 exigences à imposer à des unités spécialement conçues. Il est possible d'estimer ce déclassement à partir des formules données en 5.1 et aussi à partir de l'Article 9 de l'IEC 60076-8.

La présente norme traite des transformateurs comportant une ou plusieurs parties actives installées dans la même cuve comme (auto)transformateur de régulation et deux transformateurs de redressement. Elle couvre aussi les transformateurs comportant des transducteurs magnétiques et/ou un ou plusieurs transformateurs d'interphase.

Pour toutes les combinaisons non répertoriées ci-dessus, un accord est nécessaire entre l'acheteur et le fabricant pour la détermination et la mesure des pertes totales.

Cette norme s'applique aux transformateurs à couplage étoile Y et à couplage delta (ou triangle) Δ ainsi qu'à tout autre couplage de déphasage (comme le couplage en zigzag, en triangle prolongé, en polygone, etc.). Les enroulements de déphasage peuvent être placés sur le transformateur de régulation ou sur le transformateur de redressement.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants 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).

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

IEC 60076 (toutes les parties), *Transformateurs de puissance*

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

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

IEC 60076-3:2000, *Transformateurs de puissance – Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air*

IEC 60076-6:2007, *Transformateurs de puissance – Partie 6: Bobines d'inductance*

IEC 60076-8: 1997, *Transformateurs de puissance – Partie 8: Guide d'application*

IEC 60076-11:2004, *Transformateurs de puissance – Partie 11: transformateurs de type sec*

IEC 60146 (toutes les parties), *Convertisseurs à semi-conducteurs – Exigences générales et convertisseurs commutés par le réseau*

IEC 60146-1-1:2009, *Convertisseurs à semi-conducteurs – Exigences générales et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-1: Spécifications des exigences de base*

IEC/TR 60146-1-2:2011, *Convertisseurs à semi-conducteurs – Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-2: Guide d'application*

IEC/TR 60616:1978, *Marquage de bornes et prises de transformateurs de puissance*