

NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD

CEI  
IEC

61378-3

Première édition  
First edition  
2006-04

---

---

**Transformateurs de conversion –**

**Partie 3:  
Guide d'application**

**Converter transformers –**

**Part 3:  
Application guide**

© IEC 2006 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, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland  
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) Web: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE **XC**

*For price, see current catalogue*  
*For price, see current catalogue*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	10
1 Domaine d'application .....	16
2 Références normatives.....	16
3 Termes et définitions .....	18
4 Symboles et abréviations.....	18
5 Caractéristiques assignées.....	20
6 Configurations d'enroulement .....	20
6.1 Généralités.....	20
6.2 Applications industrielles .....	24
6.3 Applications CCHT .....	32
7 Prises de réglage et impédances – Applications CCHT.....	38
7.1 Valeur de l'impédance .....	38
7.2 Variabilité de l'impédance.....	38
8 Aspects liés à l'isolation et essais diélectriques.....	40
8.1 Systèmes d'isolation hybrides .....	40
8.2 Essais diélectriques .....	44
9 Pertes .....	52
9.1 Généralités.....	52
9.2 Essais thermiques.....	74
10 Noyau et aspects liés au niveau de bruit.....	76
10.1 Noyau .....	76
10.2 Niveau de bruit.....	78
11 Spécification du transformateur .....	82
11.1 Généralités.....	82
11.2 Spécification technique contre spécifications fonctionnelles .....	84
11.3 Spécifications de transformateurs CCHT .....	84
11.4 Notes et commentaires relatifs aux éléments des spécifications à fournir séparément par l'acheteur et le fournisseur .....	86
11.5 Informations exigées du fournisseur .....	86
11.6 Assurance qualité et programme d'essai .....	94
11.7 Disponibilité et mesures permettant de réduire le temps d'arrêt de service .....	94
11.8 Informations à fournir par l'acheteur ou par le concepteur du réseau .....	94
12 Considérations relatives au court-circuit .....	112
13 Éléments constitutifs .....	120
13.1 Changeurs de prises en charge .....	120
13.2 Traversées du côté valve .....	122
14 Maintenance.....	130
14.1 Généralités.....	130
14.2 Huile .....	132
14.3 Qualité de l'isolation.....	134
14.4 Changeurs de prises .....	144
14.5 Accessoires et dispositifs .....	146

## CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	17
2 Normative references .....	17
3 Terms and definitions .....	19
4 Symbols and abbreviations.....	19
5 Rating data.....	21
6 Winding configurations .....	21
6.1 General .....	21
6.2 Industrial applications.....	25
6.3 HVDC applications .....	33
7 Tappings and impedances – HVDC applications.....	39
7.1 Value of impedance.....	39
7.2 Variability of impedance .....	39
8 Insulation aspects and dielectric tests .....	41
8.1 Hybrid insulation systems.....	41
8.2 Dielectric tests .....	45
9 Losses.....	53
9.1 General .....	53
9.2 Thermal tests .....	75
10 Core and sound aspects.....	77
10.1 Core.....	77
10.2 Sound .....	79
11 Transformer specification .....	83
11.1 General.....	83
11.2 Technical specification versus functional specifications.....	85
11.3 HVDC transformer specifications.....	85
11.4 Notes and comments on specification items to be provided individually by purchaser and supplier.....	87
11.5 Information to be provided by the supplier.....	87
11.6 Quality assurance and test programme .....	95
11.7 Availability and measures to minimize service downtime .....	95
11.8 Information to be provided by the purchaser or by the system designer.....	95
12 Short circuit considerations .....	113
13 Components .....	121
13.1 On-load tap-changers.....	121
13.2 Valve-side bushings .....	123
14 Maintenance.....	131
14.1 General .....	131
14.2 Oil.....	133
14.3 Insulation quality.....	135
14.4 Tap-changers .....	145
14.5 Accessories and fittings.....	147

15 Surveillance .....	148
15.1 Généralités.....	148
15.2 Transformer condition assessment in service .....	148
15.3 Types de dispositifs de surveillance .....	150
15.4 Résumé.....	158
 Bibliographie.....	 160
 Figure 1 – Montage de pont hémaphasé .....	 22
Figure 2 – Montage de pont dodécaphasé .....	22
Figure 3 – Couplages de transformateur en étoile-delta et étoile-étoile ou en remplacement en delta-delta et delta-étoile pour donner une séparation de 30 degrés électriques entre les tensions du côté valve.....	22
Figure 4 – Décalage de phase de 15° réalisé de préférence par couplage en zigzag ou en delta étendu.....	24
Figure 5 – Montage de bobines d'inductance auto-saturées .....	26
Figure 6 – Concept d'autotransformateur pour phases ouvertes .....	28
Figure 7 – Concept d'autotransformateur classique pour phases fermées, avec régulation grossière et fine pour de petits échelons de régulation) .....	28
Figure 8 – Dispositif survolteur pour concept d'autotransformateur pour phases fermées, avec réglage grossier et fin pour de petits échelons de régulation .....	30
Figure 9 – Couplage en delta avec enroulements à prise .....	30
Figure 10 – Conception à deux enroulements avec enroulement à prise .....	32
Figure 11 – Deux dispositions de base des enroulements d'un transformateur à deux enroulements.....	34
Figure 12 – Impédance mutuelle.....	38
Figure 13 – Modèle d'impédance type .....	40
Figure 14 – Composants d'un système d'isolation d'un transformateur de conversion industriel type .....	42
Figure 15 – Système d'isolation, circuit R-C équivalent.....	46
Figure 16 – Répartition des tensions avant et immédiatement après inversion de la polarité .....	48
Figure 17 – Conversion c.a./c.c. – Schéma simplifié .....	50
Figure 18 – Champs de fuite pour transformateur à trois enroulements avec enroulements de valve à couplage serré.....	62
Figure 19 – Champs de fuite pour un transformateur à trois enroulements avec enroulements de valve sans couplage .....	64
Figure 20 – Champs de fuite pour un transformateur à trois enroulements avec enroulements de valve biconcentriques à couplage lâche .....	66
Figure 21 – Champs de fuite pour un transformateur à trois enroulements avec enroulements de valve double étage à couplage lâche .....	68
Figure 22 – Etats de défaut de court-circuit.....	114
Figure 23 – Disposition des traversées des valves.....	126
Figure 24 – Exemples de champs électriques c.a, c.c. et combinés adjacents aux traversées CCHT et systèmes d'isolation électriques associés.....	128
 Tableau 1 – Disposition des deux enroulements .....	 34

15 Monitoring .....	149
15.1 General .....	149
15.2 Transformer condition assessment in service .....	149
15.3 Types of monitor .....	151
15.4 Summary .....	159
 Bibliography .....	 161
 Figure 1 – Bridge connection for six-pulse arrangement .....	 23
Figure 2 – Bridge connection for twelve-pulse arrangement .....	3
Figure 3 – Transformer connections star-delta and star-star or alternatively, delta-delta and delta-star to give a 30° electrical degree separation between the valve-side voltages .....	23
Figure 4 – 15° phase shifting is preferably realized by extended delta or zigzag connection .....	25
Figure 5 – Connection of self-saturated reactors .....	27
Figure 6 – Autotransformer concept for open phases .....	29
Figure 7 – Conventional autotransformer concept for closed phases with coarse and fine regulation for small regulating steps .....	29
Figure 8 – Booster arrangement for autotransformer concept for closed phases with coarse and fine regulation for small regulating steps .....	31
Figure 9 – Delta connection with tapped windings .....	31
Figure 10 – Two winding design with tapped windings .....	33
Figure 11 – Two basic arrangements of the individual windings of a two-winding transformer .....	35
Figure 12 – Mutual impedance .....	39
Figure 13 – Typical impedance pattern .....	41
Figure 14 – Components of a typical industrial converter transformer insulating system .....	43
Figure 15 – Insulation system, equivalent R-C circuit .....	47
Figure 16 – Voltage distribution before and immediately after polarity reversal .....	49
Figure 17 – AC/DC conversion - Simplified sketch .....	51
Figure 18 – Leakage fields for a three-winding transformer with closely coupled valve windings .....	63
Figure 19 – Leakage fields for a three-winding transformer with decoupled valve windings .....	65
Figure 20 – Leakage fields for a three winding transformer with loosely coupled double concentric valve windings .....	67
Figure 21 – Leakage fields for a three winding transformer with loosely coupled double-tie valve windings .....	69
Figure 22 – Short-circuit fault conditions .....	115
Figure 23 – Arrangement of valve bushings .....	127
Figure 24 – Examples of a.c., d.c. and combined electric field dispositions adjacent to HVDC bushings and associated electric insulation systems .....	129
 Table 1 – Arrangements of two windings .....	 35

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## TRANSFORMATEURS DE CONVERSION –

### Partie 3: Guide d'application

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit (directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61378-3 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Le texte de cette Norme est basé sur les documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/529/FDIS	14/534/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

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

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## CONVERTER TRANSFORMERS –

## Part 3: Application guide

## 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 61378-3 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
14/529/FDIS	14/534/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.

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

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

Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles

Partie 2: Transformateurs pour applications CCHT

Partie 3: Guide d'application

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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

Part 3: Application guide

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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.

Currently in preview, click buy full version.

## INTRODUCTION

### 0.1 Généralités

La CEI 61378 est constituée de trois parties:

- La partie 1 s'applique aux transformateurs associés à des convertisseurs pour applications «industrielles» générales. (Fabrication du cuivre, élaboration de l'aluminium et électrolyse de certains gaz).
- La partie 2 s'applique aux transformateurs utilisés pour des applications CCHT.
- La partie 3 est constituée du présent guide d'application qui comporte les rubriques décrites dans les paragraphes 0.2 à 0.13.

La CEI 61378-1 s'applique aux transformateurs convertisseurs utilisés dans des «applications industrielles» et aux transformateurs qui alimentent des applications de fabrication électrolytique pour l'élaboration de l'aluminium, le raffinage du cuivre et la production de certains gaz. Elle s'applique également aux entraînements électriques tels que ceux utilisés dans les laminoirs et les systèmes de propulsion des navires. Elle ne s'applique pas aux entraînements électriques des applications de traction embarqués sur des locomotives mais par contre aux applications de conversion d'énergie liées à des systèmes statiques de traction. Il existe par ailleurs une large gamme de services en conversion de caractéristiques assignées moindres à laquelle la partie 1 ainsi que la présente partie de la CEI 61378 s'appliquent également.

La CEI 61378-2 couvre les transformateurs de conversion utilisés dans des «applications CCHT». Il existe deux types de systèmes de transmission de puissance CCHT, connus sous l'appellation générique de procédés «en opposition» et «en transmission». Le fonctionnement et l'évaluation des transformateurs fonctionnant au sein de ces deux systèmes sont couverts par la partie 2 ainsi que par la présente partie de la CEI 61378.

### 0.2 Caractéristiques assignées (Article 5)

Dans la CEI 61378-1 et la CEI 61378-2, la méthode d'établissement des caractéristiques assignées des transformateurs de conversion est différente de la méthode conventionnelle habituellement utilisée. La méthode conventionnelle utilise la valeur efficace du courant pour définir le régime assigné de plaque du transformateur. La CEI 61378 a introduit une modification fondamentale de la méthode de définition des caractéristiques assignées des transformateurs. Elle explique le concept d'utilisation des composantes fondamentales de tension et de courant comme base du régime assigné de plaque du transformateur. Le régime assigné de plaque déduit de ces composantes fondamentales devient la base de calcul des impédances et des pertes garanties.

### 0.3 Configurations d'enroulement (Article 6)

Il existe un grand nombre de couplages et de configurations d'enroulement spécifiques aux transformateurs de conversion tant pour des applications industrielles que pour des applications CCHT. Ceux-ci ont été développés sur de nombreuses années. Les caractéristiques fonctionnelles des divers couplages de redresseurs sont pour la plupart traitées dans la CEI 60146. La présente partie de la CEI 61378 traite des couplages dans la mesure où ils influencent la construction et certains aspects fonctionnels du transformateur.

Il est courant d'utiliser des mécanismes de régulation dans les applications industrielles. La présente partie de la CEI 61378 couvre les principes applicables à certains de ces mécanismes.

## INTRODUCTION

### 0 General

IEC 61378 is written in three parts:

- Part 1 applies to transformers associated with general "Industrial" converter uses. (Copper making, aluminium smelting and the electrolysis of certain gases).
- Part 2 applies to transformers required for HVDC applications.
- Part 3 is this application guide which contains the topic headings described in 0.2 to 0.12.

IEC 61378-1 applies to converter transformers used in "industrial applications" and applies to transformers that supply electrolysis applications for aluminium smelting, copper refining and the production of certain gases. It also applies to electrical drives as used in rolling mill and ship propulsion systems. It does not apply to electrical drives in traction applications that are mounted on board locomotives but does apply to converter applications associated with static traction systems. In addition, there is a wide range of smaller rating converter duties to which Part 1 and the present part of IEC 61378 are equally applicable.

IEC 61378-2 covers converter transformers used in "HVDC Applications". There are two types of HVDC power transmission systems known generically as "back to back" and "transmission" schemes. The operation and evaluation of transformers operating within these two systems are covered by Part 2 and the present part of IEC 61378.

#### 0.1 Rating data (Clause 5)

In both IEC 61378-1 and IEC 61378-2, the method of rating converter transformers is different to that used historically. In the traditional method, the r.m.s. value of current was used in defining the nameplate rating of the transformer. IEC 61378 has introduced a fundamental change in the method of defining the rating of transformers. The concept of using the fundamental components of voltage and current as the basis for the transformer nameplate rating is explained. The nameplate rating derived from these fundamental components becomes the basis for the guaranteed impedances and losses.

#### 0.2 Winding configurations (Clause 6)

There are a large number of winding connections and configurations that are specific to converter transformers for both industrial and HVDC applications. They have been developed over many years. The operating characteristics of the various rectifier connections are mostly covered in IEC 60146. In the present part of IEC 61378, the connections are discussed in so far as they affect the construction and some operational aspects of the transformer.

The use of regulating schemes is common in industrial applications. The present part of IEC 61378 covers the principles for a number of these schemes.

#### **0.4 Prises de réglage et impédances (Article 7)**

L'impédance des transformateurs utilisés pour des applications CCHT nécessite une attention et des solutions de conception particulières. Les exigences sont principalement liées à la limitation de la variabilité de l'impédance sur l'ensemble de la gamme de prises, la limitation de la différence d'impédance entre transformateurs et, dans certaines applications, la différence d'impédance entre enroulements à couplage étoile et à couplage delta. Le présent document traite de ces exigences et de leurs aspects pratiques.

En général, la gamme de prises des transformateurs de conversion est plus large que celle des transformateurs conventionnels. La présente norme traite des impacts de cette gamme de prises plus large sur le transformateur proprement dit et sur le changeur de prise.

#### **0.5 Aspects liés à l'isolation et essais diélectriques (Article 8)**

L'Article 8 traite de deux aspects. En premier lieu, l'utilisation croissante des systèmes d'isolation «hybrides» dans les transformateurs pour applications industrielles. En second lieu, la capacité des structures d'isolation des transformateurs CCHT lorsqu'ils sont soumis à des essais en tension continue et en service.

Les principes fondamentaux, les méthodes d'essai et les niveaux de tension d'essai utilisés sont traités, à la fois pour les essais en courant alternatif et pour ceux en courant continu. Les marges de sécurité liées au régime d'essai proposé sont également examinées.

#### **0.6 Pertes (Article 9)**

La présente partie de la CEI 61378 décrit de manière détaillée les éléments qui résultent de l'application des principes, des méthodes d'essai et de calcul utilisés, en tenant compte des effets des courants de charge non sinusoïdaux sur tous les types de transformateur de conversion.

Les principes d'essai à deux fréquences pour les applications CCHT sont également examinés en détail sur la base d'un exemple de calcul pratique. Les pertes résultant de ces essais et les calculs sont utilisés comme base de spécification des pertes et courants d'essai à utiliser pour établir les gradients de l'huile et des enroulements lors des essais thermiques.

#### **0.7 Noyau et aspects liés au niveau de bruit (Article 10)**

Les effets des harmoniques de tension et d'un courant circulant de polarisation continue sur les performances et la construction du noyau sont discutés et résumés.

Les causes de bruit et les différences qui peuvent exister entre des mesures acoustiques conventionnelles effectuées en usine et celles qui sont attendues et observées sur site sont examinées.

Cet Article traite des dernières méthodes d'évaluation du niveau acoustique lié aux transformateurs de conversion.

#### **0.8 Spécification du transformateur (Article 11)**

Les transformateurs de conversion présentent des différences significatives par rapport aux transformateurs de puissance en termes de spécification. Le guide comprend une présentation des éléments de détails exigés dans tous les types de spécifications techniques et fonctionnelles.

Il fournit également des lignes directrices quant aux éléments à spécifier par l'acheteur et à fournir par le fabricant lors des processus d'appel d'offres et des commandes.

### **0.3 Tappings and impedances (Clause 7)**

The impedance of transformers for HVDC applications requires special attention and design solutions. The requirements primarily concern the limitation of the impedance variability over the whole tapping range, the limitation of the impedance difference between transformers and in some applications, the impedance difference between star and delta windings. This document discusses these requirements and their practical aspects.

In general, the tapping range in converter transformers is wider than in conventional transformers. The impact of the wider tapping range on the transformer and the tap-changer is discussed in this document.

### **0.4 Insulation aspects and dielectric tests (Clause 8)**

Two aspects are covered in this Clause. First, the increasing use of “hybrid” insulation systems in transformers for industrial applications. Secondly, the ability of transformer insulation structures of HVDC transformers when tested with d.c. voltage and in service.

The basic principles, the methods of testing and the test voltage levels used for both a.c. and d.c. testing are discussed. The safety margins associated with the proposed testing regime are also reviewed.

### **0.5 Losses (Clause 9)**

The present part of IEC 61378 details the derivation of the principles, testing and calculation methods used that take into account the effects of non-sinusoidal load currents on converter transformers of all types.

The principles of testing at two frequencies for HVDC applications are detailed along with a worked example of the calculation. The losses derived from these tests and calculations are used as the base for specifying the test losses and currents to be used in establishing the oil and winding gradients during the thermal testing.

### **0.6 Core and sound aspects (Clause 10)**

The effects of voltage harmonics and a d.c.-bias circulating-current on the performance and construction of the core are discussed and summarized.

The causes of sound and the differences that may be expected between conventional factory sound measurements and those to be expected and experienced at site are reviewed.

The latest methods of assessment of sound associated with converter transformers are discussed.

### **0.7 Transformer specification (Clause 11)**

Transformers for converters differ significantly from power transformers with respect to the transformer specification. An outline of the details required in any specification is included as part of the guide for both technical and functional types of specification.

Some guidance as to what should be specified by the purchaser and what should be expected from the manufacturer during the tender and order process is given.

### **0.9 Considérations relatives aux courts-circuits (Article 12)**

Pour les transformateurs de puissance conventionnels, le calcul des courants de court-circuit dans les enroulements dépend uniquement des composantes de l'impédance et de la résistance du transformateur et de l'alimentation à laquelle il est connecté.

Dans le cas de transformateurs utilisés pour alimenter des applications de conversion, il existe dans le convertisseur des conditions de défaut qu'il est nécessaire de prendre en compte lorsque la valeur de crête des courants de défaut risque d'être supérieure à celles qui résultent des transformateurs de puissance conventionnels. Ces conditions sont décrites en détails dans la présente partie de la CEI 61378.

### **0.10 Composants (Article 13)**

Pour la conception des transformateurs, qu'ils soient destinés à des applications industrielles ou à des applications de conversion CCHT, le choix et le fonctionnement du changeur de prises en charge sont déterminants. La présente partie de la CEI 61378 présente certains principes qui décident de l'utilisation des changeurs de prises en charge dans ces applications.

Dans les applications CCHT, le choix et l'intégration des traversées du côté de la valve dans la conception globale sont d'une importance vitale.

Les exigences générales et les recommandations relatives à la construction, à l'intégration des traversées au transformateur et aux essais requis sont décrites en détail. Une norme CEI spécifique aux traversées CCHT est en cours d'élaboration et les recommandations de la présente partie de la CEI 61378 utilisent des exigences de la nouvelle norme.

### **0.11 Maintenance (Article 14)**

Les statistiques indiquent que les transformateurs CCHT exigent un niveau élevé de maintenance. Les éléments qui nécessitent une attention particulière sont les changeurs de prises en charge et les traversées du côté valve. Le présent document prête une attention toute particulière aux exigences de maintenance.

### **0.12 Surveillance et analyses sur site (Article 15)**

Il est recommandé de surveiller les transformateurs, si les problèmes sur site doivent être réduits et c'est dans ce cadre que la surveillance de condition est traitée. La présente partie de la CEI 61378 présente également des recommandations quant aux procédures et pratiques à suivre en cas de défaillance sur site. Ces recommandations sont faites pour ne pas détruire ou affecter les preuves et données vitales au cours des étapes initiales de l'analyse.

L'Article 15 traite également de l'utilisation du contrôle d'état pour cette application.

### **0.13 Autres sources d'information**

L'élaboration de la présente partie de la CEI 61378 qui couvre particulièrement les applications de conversion CCHT de la CEI 61378-2 a été influencée de manière significative par les travaux sur divers sujets du groupe de travail mixte 12/14.10 du CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Electriques).

### **0.8 Short circuit considerations (Clause 12)**

In conventional power transformers, the calculation of the short circuit currents within the windings are dependent solely on the impedance and resistance components of the transformer and supply to which it is connected.

In the case of transformers used to supply converter applications, there are fault conditions within the converter that need to be considered where the peak value of the fault currents may be higher than those derived for conventional power transformers. These conditions are detailed in the present part of IEC 61378.

### **0.9 Components (Clause 13)**

In the design of transformers for both industrial and HVDC converter applications, the choice and operation of the on-load tap-changer is crucial. The present part of IEC 61378 outlines some of the principles governing the use of tap-changers in these applications.

In the HVDC application, the choice and integration of the valve-side bushings into the overall design is of vital importance.

The general requirements and recommendations for the construction, integration of the bushings with the transformer and testing are detailed. An IEC standard specifically for HVDC bushing is in preparation and the recommendations in the present part of IEC 61378 draws upon the requirements of the new standard.

### **0.10 Maintenance (Clause 14)**

Statistics suggest that the HVDC transformer requires maintenance to a high standard. Those items that require particular attention are on-load tap-changers and valve-side bushings. Attention is drawn in this document to maintenance requirements.

### **0.11 Monitoring and on-site investigations (Clause 15)**

Transformer monitoring is recommended if on-site problems are to be minimized and in this respect, condition monitoring is discussed. The present part of IEC 61378 also presents recommendations for the procedure and practices to be followed in the event of a failure at site. These recommendations are made so that vital evidence and data are not destroyed or contaminated at the initial stages of the investigation.

The use of condition monitoring for this application is also discussed in this clause.

### **0.12 Additional sources of information**

The preparation of the present part of IEC 61378, specifically for IEC 61378-2 HVDC converter applications, was significantly influenced by the working papers on various topics of CIGRE Joint Working Group 12/14.10.

## TRANSFORMATEURS DE CONVERSION –

### Partie 3: Guide d'application

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61378 fournit aux utilisateurs des informations sur des sujets spécifiques pour lesquels il existe des différences de conception, de construction, d'essais et de conditions de fonctionnement entre les transformateurs industriels et de conversion CCHT d'une part et les transformateurs conventionnels utilisés dans les systèmes de puissance d'autre part. En outre l'objectif de la présente partie de la CEI 61378 est de fournir aux fabricants les éléments techniques de fond qui constituent la base des principes utilisés dans la CEI 61378-1 et la CEI 61378-2.

La présente partie de la CEI 61378 est prévue pour compléter et non pour remplacer ou annuler le guide d'application pour les transformateurs de puissance, la CEI 60076-8, dans la mesure où nombre des principes généraux contenus dans ladite publication s'appliquent également aux transformateurs de conversion.

#### 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).

CEI 60076-1:1993, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*  
Amendement 1 (1999)

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

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

CEI 60214-1, *Changeurs de prises – Partie 1: Prescriptions de performances et méthodes d'essai*

CEI 60214-2, *Tap-changers – Part 2: Application guide* (disponible en anglais seulement)

CEI 60296, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillages de connexion*

CEI 60422, *Guide de maintenance et de surveillance des huiles minérales isolantes en service dans les matériels électriques*

CEI 60567, *Matériels électriques immergés – Echantillonnage de gaz et d'huile pour analyse des gaz libres et dissous – Lignes directrices*

CEI 60599, *Matériels électriques imprégnés d'huile minérale en service – Guide pour l'interprétation de l'analyse des gaz dissous et des gaz libres*

CEI 61378-1:1997, *Transformateurs de conversion – Partie 1: Transformateurs pour applications industrielles*

CEI 61378-2:2001, *Transformateurs de conversion – Partie 2: Transformateurs pour applications CCHT*

## CONVERTER TRANSFORMERS –

### Part 3: Application guide

#### 1 Scope

This part of IEC 61378 provides information to users about specific topics related to industrial and HVDC converter transformers with design, construction, testing and operating conditions differing from conventional transformers used in power systems. In addition, it is the aim of the present part of IEC 61378 to provide manufacturers with the technical background that forms the basis for the principles used within IEC 61378-1 and IEC 61378-2.

It is intended that this part of IEC 61378 is used to supplement and not replace or supersede the application guide for power transformers, IEC 60076-8, since many of the general principles contained within it are equally applicable to converter transformers.

#### 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 60076-1:1993, *Power transformers – Part 1: General*  
Amendment 1 (1999)

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

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

IEC 60214-1, *Tap-changers – Part 1: Performance requirements and test methods*

IEC 60214-2, *Tap-changers – Part 2: Application guide*

IEC 60296, *Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*

IEC 60422, *Supervision and maintenance guide for mineral insulating oils in electrical equipment*

IEC 60567, *Oil-filled electrical equipment – Sampling of gases and of oil for analysis of free and dissolved gases – Guidance*

IEC 60599, *Mineral oil impregnated electrical equipment in service – Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis*

IEC 61378-1:1997, *Converter transformers – Part 1: Transformers for industrial applications*

IEC 61378-2:2001, *Converter transformers – Part 2: Transformers for HVDC applications*