

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61803

Première édition
First edition
1999-02

**Détermination des pertes en puissance
dans les postes de conversion en courant continu
à haute tension (CCHT)**

**Determination of power losses in high-voltage
direct current (HVDC) converter stations**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61803:1999

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60 050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60 027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60 617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60 000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

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 in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60 050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60 027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60 617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61803

Première édition
First edition
1999-02

**Détermination des pertes en puissance
dans les postes de conversion en courant continu
à haute tension (CCHT)**

**Determination of power losses in high-voltage
direct current (HVDC) converter stations**

© IEC 1999 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé, Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site: <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives.....	8
3 Définitions et symboles	10
3.1 Définitions.....	10
3.2 Symboles littéraux.....	12
4 Généralités	12
4.1 Introduction.....	12
4.2 Conditions ambiantes.....	14
4.2.1 Température extérieure de référence normalisée.....	14
4.2.2 Température de référence normalisée de l'agent de refroidissement.....	14
4.2.3 Pression de l'air de référence normalisée	14
4.3 Paramètres de fonctionnement.....	16
5 Détermination des pertes du matériel	16
5.1 Pertes de valves à thyristors	16
5.1.1 Pertes de conduction de thyristors par valve.....	18
5.1.2 Affaiblissement géométrique de thyristors par valve.....	20
5.1.3 Autres pertes résistives par valve.....	20
5.1.4 Pertes dépendant de la tension continue par valve.....	22
5.1.5 Pertes d'amortissement par valve (terme dépendant de la résistance) ..	24
5.1.6 Pertes par amortissement par valve (variation du terme énergie du condensateur)	24
5.1.7 Pertes au blocage par valve	26
5.1.8 Perte d'inductance par valve.....	26
5.1.9 Pertes totales de valve	28
5.1.10 Effets de la température	28
5.1.11 Perte en fonctionnement à vide par valve	28
5.2 Pertes d'un transformateur de conversion.....	30
5.2.1 Généralités	30
5.2.2 Pertes en fonctionnement à vide.....	30
5.2.3 Pertes en fonctionnement.....	30
5.2.4 Pertes de puissance auxiliaire	32
5.3 Pertes par filtre côté alternatif	32
5.3.1 Généralités	32
5.3.2 Pertes au niveau d'un condensateur de filtrage à courant alternatif.....	34
5.3.3 Pertes au niveau d'une inductance de filtrage à courant alternatif	34
5.3.4 Pertes au niveau d'une résistance de filtrage à courant alternatif	36
5.3.5 Pertes totales au niveau d'un filtre côté alternatif	36
5.4 Pertes au niveau d'une batterie de condensateurs shunt.....	36
5.5 Pertes au niveau d'une bobine d'inductance shunt.....	36
5.6 Pertes au niveau d'une bobine d'inductance de lissage en courant continu.....	38

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Definitions and symbols	11
3.1 Definitions	11
3.2 Letter symbols	13
4 General	13
4.1 Introduction	13
4.2 Ambient conditions	15
4.2.1 Outdoor standard reference temperature	15
4.2.2 Coolant standard reference temperature	15
4.2.3 Standard reference air pressure	15
4.3 Operating parameters	17
5 Determination of equipment losses	17
5.1 Thyristor valve losses	17
5.1.1 Thyristor conduction loss per valve	19
5.1.2 Thyristor spreading loss per valve	21
5.1.3 Other conduction losses per valve	21
5.1.4 DC voltage-dependent loss per valve	23
5.1.5 Damping loss per valve (resistor-dependent term)	25
5.1.6 Damping loss per valve (change of capacitor energy term)	25
5.1.7 Turn-off losses per valve	27
5.1.8 Reactor loss per valve	27
5.1.9 Total valve losses	29
5.1.10 Temperature effects	29
5.1.11 No-load operation loss per valve	29
5.2 Converter transformer losses	31
5.2.1 General	31
5.2.2 No-load operation losses	31
5.2.3 Operating losses	31
5.2.4 Auxiliary power losses	33
5.3 AC filter losses	33
5.3.1 General	33
5.3.2 AC filter capacitor losses	35
5.3.3 AC filter reactor losses	35
5.3.4 AC filter resistor losses	37
5.3.5 Total a.c. filter losses	37
5.4 Shunt capacitor bank losses	37
5.5 Shunt reactor losses	37
5.6 DC smoothing reactor losses	39

Articles	Pages
5.7 Pertes au niveau d'un filtre côté continu	38
5.7.1 Généralités	38
5.7.2 Pertes au niveau d'un condensateur de filtrage à courant continu	40
5.7.3 Pertes au niveau d'une inductance de filtrage à courant continu	40
5.7.4 Pertes au niveau d'une résistance de filtrage à courant continu	42
5.7.5 Pertes totales au niveau d'un filtre côté continu	42
5.8 Pertes du matériel auxiliaire et du poste en service	42
5.9 Pertes au niveau des filtres d'interférences radio/courant porteur sur ligne d'énergie	44
5.10 Autres pertes au niveau du matériel	46
Figure 1 Matériel type en courant continu à haute tension (CCHT) pour un pôle	48
Figure 2 Schéma triphasé simplifié d'un convertisseur à 12 impulsions à CCHT	50
Figure 3 Circuit équivalent simplifié d'une valve type à thyristors	50
Figure 4 Formes de courant et de tension d'une valve fonctionnant dans un convertisseur à 12 impulsions	52
Figure 5 Courbe caractéristique d'un thyristor à l'état passant	54
Figure 6 Courant de conduction et chute de tension	54
Figure 7 Répartition de l'inductance de commutation entre L_1 et L_2	56
Figure 8 Courant dans le thyristor durant le rétablissement inverse	56
Annexe A (normative) Calcul des courants et tensions harmoniques	58
A.1 Courants harmoniques dans les transformateurs de conversion	58
A.2 Courants harmoniques dans les filtres côté alternatif	58
A.3 Tensions harmoniques sur le côté continu	60
A.4 Courants harmoniques dans la bobine d'inductance de lissage	60
Annexe B (informative) Pertes typiques du poste	62
Annexe C (informative) Bibliographie	64

Clause	Page
5.7 DC filter losses	39
5.7.1 General	39
5.7.2 DC filter capacitor losses	41
5.7.3 DC filter reactor losses	41
5.7.4 DC filter resistor losses	43
5.7.5 Total d.c. filter losses	43
5.8 Auxiliaries and station service losses	43
5.9 Radio interference/PLC filter losses	45
5.10 Other equipment losses	47
Figure 1 Typical high-voltage direct current (HVDC) equipment for one pole	49
Figure 2 Simplified three-phase diagram of an HVDC 12-pulse converter	51
Figure 3 Simplified equivalent circuit of a typical thyristor valve	51
Figure 4 Current and voltage waveforms of a valve operating in a 12-pulse converter ...	53
Figure 5 Thyristor on-state characteristic	55
Figure 6 Conduction current and voltage drop	55
Figure 7 Distribution of commutating inductance between L_1 and L_2	57
Figure 8 Thyristor current during reverse recovery	57
Annex A (normative) Calculation of harmonic currents and voltages	59
A.1 Harmonic currents in converter transformers	59
A.2 Harmonic currents in a.c. filters	59
A.3 Harmonic voltages on the d.c. side	61
A.4 DC side harmonic currents in the smoothing reactor	61
Annex B (informative) Typical station losses	63
Annex C (informative) Bibliography	65

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DÉTERMINATION DES PERTES EN PUISSANCE DANS LES POSTES DE CONVERSION EN COURANT CONTINU À HAUTE TENSION (CCHT)

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61803 a été établie par le sous-comité 22F: Electronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution, du comité d'études 22 de la CEI: Electronique de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
22F/51/FDIS	22F/56/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.

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

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

Le contenu du corrigendum d'octobre 1999 a été pris en considération dans cet exemplaire.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**DETERMINATION OF POWER LOSSES IN HIGH-VOLTAGE
DIRECT CURRENT (HVDC) CONVERTER STATIONS**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61803 has been prepared by subcommittee 22F: Power electronics for electrical transmission and distribution systems, of IEC technical committee 22: Power electronics.

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

FDIS	Report on voting
22F/51/FDIS	22F/56/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.

Annex A forms an integral part of this standard.

Annexes B and C are for information only.

The contents of the corrigendum of October 1999 have been included in this copy.

DÉTERMINATION DES PERTES EN PUISSANCE DANS LES POSTES DE CONVERSION EN COURANT CONTINU À HAUTE TENSION (CCHT)

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique à tous les postes de conversion en courant continu à haute tension (CCHT), commutés par le réseau, et utilisés pour l'échange de puissance dans des systèmes de distribution d'énergie. Cette norme présuppose l'utilisation de convertisseurs à thyristors à 12 impulsions mais peut également, en utilisant les précautions appropriées, s'appliquer à des convertisseurs à thyristors à 6 impulsions.

Dans certaines applications, il est admis de connecter des compensateurs synchrones ou des compensateurs var statiques (CVS) au noeud à courant alternatif du poste de conversion en courant continu à haute tension (CCHT). Les procédures de détermination de pertes pour ce type de matériel ne figurent pas dans la présente norme.

La présente norme décrit un ensemble de procédures types permettant de déterminer l'ensemble des pertes d'un poste de conversion à CCHT. Un matériel type à CCHT est présenté à la figure 1. Les procédures recouvrent toutes les pièces, à l'exception de celles mentionnées ci-dessus, et considèrent les pertes en fonctionnement à vide et les pertes en fonctionnement ainsi que leurs méthodes de calcul utilisant, dans la mesure du possible, des paramètres mesurés.

Les conceptions de poste de conversion utilisant des composants ou configurations de circuit originaux par rapport à la conception type considérée a priori dans la présente norme, ou des conceptions équipées de circuits de distribution d'énergie auxiliaires inhabituels susceptibles de modifier les pertes, doivent être évaluées selon leurs propres mérites.

2 Références normatives

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

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

CEI 60289:1988, *Bobines d'inductance*

CEI 60633:1998, *Terminologie pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT)*

CEI 60700-1:1998, *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 1: Essais électriques*

DETERMINATION OF POWER LOSSES IN HIGH-VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) CONVERTER STATIONS

1 Scope

This International Standard applies to all line-commutated high-voltage direct current (HVDC) converter stations used for power exchange in utility systems. This standard presumes the use of 12-pulse thyristor converters but can, with due care, also be used for 6-pulse thyristor converters.

In some applications, synchronous compensators or static var compensators (SVC) may be connected to the a.c. bus of the HVDC converter station. The loss determination procedures for such equipment are not included in this standard.

This standard presents a set of standard procedures for determining the total losses of an HVDC converter station. Typical HVDC equipment is shown in figure 1. The procedures cover all parts, except as noted above, and address no-load operation and operating losses together with their methods of calculation which use, wherever possible, measured parameters.

Converter station designs employing novel components or circuit configurations compared to the typical design assumed in this standard, or designs equipped with unusual auxiliary circuits that could affect the losses, shall be assessed on their own merits.

2 Normative references

The following normative documents 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 normative documents 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 normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

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

IEC 60289:1988, *Reactors*

IEC 60633:1998, *Terminology for high-voltage direct current (HVDC) transmission*

IEC 60700-1:1998, *Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 1: Electrical testing*

CEI 60747-6:1983, *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs discrets – Partie 6: Thyristors*

CEI 60871-1:1997, *Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V – Partie 1: Généralités – Caractéristiques fonctionnelles, essais et valeurs assignées – Règles de sécurité – Guide d'installation et d'exploitation*

3 Définitions et symboles

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent:

3.1 Définitions

3.1.1

pertes auxiliaires

puissance électrique requise pour alimenter les charges auxiliaires des postes de conversion. Les pertes auxiliaires varient selon que le poste fonctionne à vide ou en charge, auquel cas les pertes auxiliaires dépendent du niveau de charge

3.1.2

pertes en fonctionnement à vide

pertes produites dans un élément du matériel tandis que le poste de conversion est sous tension mais que les convertisseurs sont bloqués et que toutes les charges de poste en service et le matériel auxiliaire sont connectés comme prescrit pour la captation immédiate d'une charge

3.1.3

niveau de charge

ce terme spécifie le courant continu, la tension continue, l'angle d'allumage, la tension alternative et la position du changeur de prises du transformateur de conversion selon lesquels le poste de conversion fonctionne

3.1.4

pertes en fonctionnement

pertes produites dans un élément de matériel à un niveau de charge donné, tandis que le poste de conversion est sous tension et les convertisseurs sont en fonctionnement

3.1.5

charge assignée

cette charge est liée au fonctionnement pour des valeurs nominales de courant continu, de tension continue, alternative et d'angle d'allumage de convertisseur. On doit supposer que le réseau à tension alternative est à fréquence nominale et que ses tensions triphasées sont nominales et équilibrées. La position du changeur de prises du transformateur de conversion et le nombre de filtres à courant alternatif et d'éléments d'inductance shunt connectés doivent être compatibles avec un fonctionnement sous une charge assignée coïncidant avec des conditions nominales

3.1.6

pertes totales d'un poste

la perte totale d'un poste est la somme de toutes les pertes en fonctionnement ou des pertes en fonctionnement à vide et des pertes auxiliaires correspondantes

IEC 60747-6:1983, *Semiconductor devices – Discrete devices – Part 6: Thyristors*

IEC 60871-1:1997, *Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V – Part 1: General performance, testing and rating – Safety requirements – Guide for installation and operation*

3 Definitions and symbols

For the purpose of this International Standard, the following definitions apply:

3.1 Definitions

3.1.1

auxiliary losses

the electric power required to feed the converter station auxiliary loads. The auxiliary losses depend on whether the station is in no-load operation or carrying load, in which case the auxiliary losses depend on the load level

3.1.2

no-load operation losses

the losses produced in an item of equipment with the converter station energized but with the converters blocked and all station service loads and auxiliary equipment connected as required for immediate pick-up of load

3.1.3

load level

this term specifies the direct current, direct voltage, firing angle, a.c. voltage, and converter transformer tap-changer position at which the converter station is operating

3.1.4

operating losses

the losses produced in an item of equipment at a given load level with the converter station energized and the converters operating

3.1.5

rated load

this load is related to operation at nominal values of d.c. current, d.c. voltage, a.c. voltage and converter firing angle. The a.c. system shall be assumed to be at nominal frequency and its 3-phase voltages are nominal and balanced. The position of the tap-changer of the converter transformer and the number of a.c. filters and shunt reactive elements connected shall be consistent with operation at rated load, coincident with nominal conditions

3.1.6

total station losses

the total station loss is the sum of all operating or no-load operation losses and the corresponding auxiliary losses