

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

e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland  
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 par 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 (injection 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 .....	16
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

For 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*

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*