



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Determination of power losses in high-voltage direct current (HVDC) converter stations with line-commutated converters

Détermination des pertes en puissance dans les postes de conversion en courant continu à haute tension (CCHT) munis de convertisseurs commutés par le réseau

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Definitions and symbols.....	7
3.1 Definitions	7
3.2 Letter symbols.....	8
4 General	8
4.1 Introduction	8
4.2 Ambient conditions	9
4.2.1 Outdoor standard reference temperature	9
4.2.2 Coolant standard reference temperature.....	9
4.2.3 Standard reference air pressure	9
4.3 Operating parameters.....	9
5 Determination of equipment losses	10
5.1 Thyristor valve losses.....	10
5.1.1 Thyristor conduction loss per valve.....	11
5.1.2 Thyristor spreading loss per valve	11
5.1.3 Other conduction losses per valve	12
5.1.4 D.C. voltage-dependent loss per valve	12
5.1.5 Damping loss per valve (resistor-dependent term)	13
5.1.6 Damping loss per valve (change of capacitor energy term)	14
5.1.7 Turn-off losses per valve	14
5.1.8 Reactor loss per valve	14
5.1.9 Total valve losses.....	15
5.1.10 Temperature effects	15
5.1.11 No-load operation loss per valve	15
5.2 Converter transformer losses	16
5.2.1 General	16
5.2.2 No-load operation losses	16
5.2.3 Operating losses	16
5.2.4 Auxiliary power losses	17
5.3 AC filter losses	17
5.3.1 General	17
5.3.2 AC filter capacitor losses	18
5.3.3 AC filter reactor losses	18
5.3.4 AC filter resistor losses.....	19
5.3.5 Total a.c. filter losses	19
5.4 Shunt capacitor bank losses.....	19
5.5 Shunt reactor losses.....	19
5.6 DC smoothing reactor losses.....	19
5.7 DC filter losses.....	20
5.7.1 General	20
5.7.2 DC filter capacitor losses.....	21
5.7.3 DC filter reactor losses	21

5.7.4	DC filter resistor losses	21
5.7.5	Total d.c. filter losses	21
5.8	Auxiliaries and station service losses	22
5.9	Radio interference/PLC Series filter losses	22
5.10	Other equipment losses.....	23
Annex A (normative)	Calculation of harmonic currents and voltages	29
Annex B (informative)	Typical station losses	31
Annex C (informative)	Bibliography.....	32
Figure 1	– Typical high-voltage direct current (HVDC) equipment for one pole (auxiliary equipment is not shown)	24
Figure 2	– Simplified three-phase diagram of an HVDC 12-pulse converter.....	25
Figure 3	– Simplified equivalent circuit of a typical thyristor valve	25
Figure 4	– Current and voltage waveforms of a valve operating in a 12-pulse converter (commutation overshoots are not shown)	26
Figure 5	– Thyristor on-state characteristic	27
Figure 6	– Conduction current and voltage drop.....	27
Figure 7	– Distribution of commutating inductance between L1 and L2	28
Figure 8	– Thyristor current during reverse recovery	28

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

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.

This consolidated version of IEC 61803 consists of the first edition (1999) [documents 22F/51/FDIS and 22F/56/RVD], its amendment 1 (2010) [documents 22F/214/CDV and 22F/224/RVC] and its corrigendum of October 1999. It bears the edition number 1.1.

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience. A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1. Additions and deletions are displayed in red, with deletions being struck through.

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.

Annex A forms an integral part of this standard.

Annexes B and C are for information only.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments 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.

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 publication using a colour printer.

DETERMINATION OF POWER LOSSES IN HIGH-VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) CONVERTER STATIONS WITH LINE- COMMUTATED CONVERTERS

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 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*

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

~~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*

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~~*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	36
1 Domaine d'application	38
2 Références normatives.....	38
3 Définitions et symboles.....	39
3.1 Définitions	39
3.2 Symboles littéraux.....	40
4 Généralités.....	40
4.1 Introduction	40
4.2 Conditions ambiantes	41
4.2.1 Température extérieure de référence normalisée.....	41
4.2.2 Température de référence normalisée de l'agent de refroidissement	41
4.2.3 Pression de l'air de référence normalisée	41
4.3 Paramètres de fonctionnement.....	42
5 Détermination des pertes du matériel	42
5.1 Pertes de valves à thyristors	42
5.1.1 Pertes de conduction de thyristors par valve.....	43
5.1.2 Affaiblissement géométrique de thyristors par valve	44
5.1.3 Autres pertes résistives par valve	44
5.1.4 Pertes dépendant de la tension continue par valve	45
5.1.5 Pertes d'amortissement par valve (terme dépendant de la résistance).....	46
5.1.6 Pertes par amortissement par valve (variation du terme énergie du condensateur).....	46
5.1.7 Pertes au blocage par valve	47
5.1.8 Perte d'inductance par valve.....	47
5.1.9 Pertes totales de valve	48
5.1.10 Effets de la température	48
5.1.11 Perte en fonctionnement à vide par valve	48
5.2 Pertes d'un transformateur de conversion.....	49
5.2.1 Généralités.....	49
5.2.2 Pertes en fonctionnement à vide.....	49
5.2.3 Pertes en fonctionnement.....	49
5.2.4 Pertes de puissance auxiliaire	50
5.3 Pertes par filtre côté alternatif	50
5.3.1 Généralités.....	50
5.3.2 Pertes au niveau d'un condensateur de filtrage à courant alternatif	51
5.3.3 Pertes au niveau d'une inductance de filtrage à courant alternatif.....	51
5.3.4 Pertes au niveau d'une résistance de filtrage à courant alternatif	51
5.3.5 Pertes totales au niveau d'un filtre côté alternatif.....	52
5.4 Pertes au niveau d'une batterie de condensateurs shunt	52
5.5 Pertes au niveau d'une bobine d'inductance shunt	52
5.6 Pertes au niveau d'une bobine d'inductance de lissage en courant continu.....	52

5.7	Pertes au niveau d'un filtre côté continu	53
5.7.1	Généralités.....	53
5.7.2	Pertes au niveau d'un condensateur de filtrage à courant continu.....	54
5.7.3	Pertes au niveau d'une inductance de filtrage à courant continu	54
5.7.4	Pertes au niveau d'une résistance de filtrage à courant continu.....	54
5.7.5	Pertes totales au niveau d'un filtre côté continu	55
5.8	Pertes du matériel auxiliaire et du poste en service	55
5.9	Pertes au niveau des filtres d'interférences radio/courant porteur sur ligne d'énergie en série	56
5.10	Autres pertes au niveau du matériel	57
Annexe A (normative) Calcul des courants et tensions harmoniques.....		63
Annexe B (informative) Pertes typiques du poste		65
Annexe C (informative) Bibliographie		66
Figure 1 – Matériel type en courant continu à haute tension (CCHT) pour un pôle (le matériel auxiliaire n'est pas indiqué)		58
Figure 2 – Schéma triphasé simplifié d'un convertisseur à 12 impulsions à CCHT		59
Figure 3 – Circuit équivalent simplifié d'une valve type à thyristors		59
Figure 4 – Formes de courant et de tension d'une valve fonctionnant dans un convertisseur à 12 impulsions (les dépassements de commutation ne sont pas indiqués).....		60
Figure 5 – Courbe caractéristique d'un thyristor à l'état passant		61
Figure 6 – Courant de conduction et chute de tension.....		61
Figure 7 – Répartition de l'inductance de commutation entre L1 et L2.....		62
Figure 8 – Courant dans le thyristor durant le rétablissement inverse		62

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DÉTERMINATION DES PERTES EN PUISSANCE DANS LES POSTES DE CONVERSION EN COURANT CONTINU À HAUTE TENSION (CCHT) **MUNIS DE CONVERTISSEURS COMMUTÉS PAR LE RÉSEAU**

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 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. La CEI 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 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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

Cette version consolidée de la CEI 61803 comprend la première édition (1999) [documents 22F/51/FDIS et 22F/56/RVD], son amendement 1 (2010) [documents 22F/214/CDV et 22F/224/RVC] et le corrigendum d'octobre 1999. Elle porte le numéro d'édition 1.1.

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1. Les ajouts et les suppressions apparaissent en rouge, les suppressions sont barrées.

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.

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

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

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements ne sera pas modifié avant la date de stabilité 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.

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.

DÉTERMINATION DES PERTES EN PUISSANCE DANS LES POSTES DE CONVERSION EN COURANT CONTINU À HAUTE TENSION (CCHT) **MUNIS DE CONVERTISSEURS COMMUTÉS PAR LE RÉSEAU**

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 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*

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

~~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*

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~~