

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 la ligne

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.200

ISBN 978-2-8322-8948-8

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

CONTENTS

FOREWORD	4
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms, definitions and symbols	6
3.1 Terms and definitions	7
3.2 Symbols	8
4 Overview	8
4.1 General	8
4.2 Ambient conditions	9
4.2.1 General	9
4.2.2 Outdoor standard reference temperature	9
4.2.3 Coolant standard reference temperature	9
4.2.4 Standard reference air pressure	10
4.3 Operating parameters	10
5 Determination of equipment losses	10
5.1 Thyristor valve losses	10
5.1.1 General	10
5.1.2 Thyristor conduction loss per valve	11
5.1.3 Thyristor spreading loss per valve	12
5.1.4 Other conduction losses per valve	12
5.1.5 DC voltage-dependent loss per valve	13
5.1.6 Damping loss per valve (resistor-dependent term)	14
5.1.7 Damping loss per valve (change of capacitor energy term)	14
5.1.8 Turn-off losses per valve	15
5.1.9 Reactor loss per valve	15
5.1.10 Total valve losses	16
5.1.11 Temperature effects	16
5.1.12 No-load operation loss per valve	16
5.2 Converter transformer losses	17
5.2.1 General	17
5.2.2 No-load operation losses	17
5.2.3 Operating losses	17
5.2.4 Auxiliary power losses	18
5.3 AC filter losses	19
5.3.1 General	19
5.3.2 AC filter capacitor losses	19
5.3.3 AC filter reactor losses	19
5.3.4 AC filter resistor losses	20
5.3.5 Total AC filter losses	20
5.4 Shunt capacitor bank losses	20
5.5 Shunt reactor losses	20
5.6 DC smoothing reactor losses	21
5.7 DC filter losses	21
5.7.1 General	21
5.7.2 DC filter capacitor losses	22
5.7.3 DC filter reactor losses	22

5.7.4	DC filter resistor losses	23
5.7.5	Total DC filter losses	23
5.8	Auxiliaries and station service losses	23
5.9	Series filter losses	24
5.10	Other equipment losses	25
Annex A (informative) Calculation of harmonic currents and voltages		31
A.1	Harmonic currents in converter transformers.....	31
A.2	Harmonic currents in the AC filters.....	31
A.3	Harmonic voltages on the DC side	32
A.4	DC side harmonic currents in the smoothing reactor	32
Annex B (informative) Typical station losses		33
Annex C (informative) HVDC converter station loss evaluation – An illustration		34
C.1	General.....	34
C.2	Loss evaluation under various cases.....	35
Bibliography.....		37
Figure 1 – Typical high-voltage direct current (HVDC) equipment for one pole		26
Figure 2 – Simplified three-phase diagram of an HVDC 12-pulse converter.....		27
Figure 3 – Simplified equivalent circuit of a typical thyristor valve		27
Figure 4 – Current and voltage waveforms of a valve operating in a 12-pulse converter.....		28
Figure 5 – Thyristor on-state characteristic		29
Figure 6 – Conduction current and voltage drop.....		29
Figure 7 – Distribution of commutating inductance between L_1 and L_2		30
Figure 8 – Thyristor current during reverse recovery		30
Table B.1 – Typical values of losses		33
Table C.1 – Conditions for calculation of losses in case D1		36
Table C.2 – Conditions for calculation of losses in Case D2.....		36

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.

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

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1999, Amendment 1:2010 and Amendment 2:2016. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) to facilitate the application of this document and to ensure its quality remains consistent, 5.1.8 and 5.8 have been reviewed, taking into consideration that the present thyristor production technology provides considerably less thyristor parameters dispersion comparing with the situation in 1999 when the first edition of IEC 61803 was developed, and therefore the production records of thyristors can be used for the power losses calculation;

- b) the calculation of the total station load losses (cases D1 and D2 in Annex C) has been corrected.

The text of this International Standard is based on the following documents:

CDV	Report on voting
22F/563/CDV	22F/580A/RVC

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

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

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

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

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

1 Scope

This document applies to all line-commutated high-voltage direct current (HVDC) converter stations used for power exchange (power transmission or back-to-back installation) in utility systems. This document 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 AC bus of the HVDC converter station. The loss determination procedures for such equipment are not included in this document.

This document presents a set of standard procedures for determining the total losses of an HVDC converter station. 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 document, or designs equipped with unusual auxiliary circuits that could affect the losses, are assessed on their own merits.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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, *Power transformers – Part 1: General*

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

IEC 60633, *High-voltage direct current (HVDC) transmission – Vocabulary*

IEC 60700-1:2015, *Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 1: Electrical testing*

IEC 60871-1, *Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V – Part 1: General*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	40
1 Domaine d'application	42
2 Références normatives	42
3 Termes, définitions et symboles	42
3.1 Termes et définitions	43
3.2 Symboles	44
4 Vue d'ensemble	44
4.1 Généralités	44
4.2 Conditions ambiantes.....	45
4.2.1 Généralités	45
4.2.2 Température extérieure de référence normalisée	45
4.2.3 Température de référence normalisée de l'agent de refroidissement.....	46
4.2.4 Pression de l'air de référence normalisée	46
4.3 Paramètres de fonctionnement	46
5 Détermination des pertes du matériel	47
5.1 Pertes de valves à thyristors	47
5.1.1 Généralités	47
5.1.2 Pertes de conduction de thyristors par valve.....	47
5.1.3 Affaiblissement géométrique de thyristors par valve	48
5.1.4 Autres pertes de conduction par valve	49
5.1.5 Pertes dépendant de la tension continue par valve	49
5.1.6 Pertes d'amortissement par valve (terme dépendant de la résistance).....	50
5.1.7 Pertes d'amortissement par valve (variation du terme énergie du condensateur)	51
5.1.8 Pertes au blocage par valve	51
5.1.9 Perte d'inductance par valve.....	52
5.1.10 Pertes totales de valve	52
5.1.11 Effets de la température	52
5.1.12 Perte en fonctionnement à vide par valve	53
5.2 Pertes d'un transformateur de conversion	53
5.2.1 Généralités	53
5.2.2 Pertes en fonctionnement à vide.....	54
5.2.3 Pertes en fonctionnement.....	54
5.2.4 Pertes de puissance auxiliaire	55
5.3 Pertes par filtre côté alternatif.....	55
5.3.1 Généralités	55
5.3.2 Pertes au niveau d'un condensateur de filtrage à courant alternatif	56
5.3.3 Pertes au niveau d'une inductance de filtrage à courant alternatif.....	56
5.3.4 Pertes au niveau d'une résistance de filtrage à courant alternatif.....	57
5.3.5 Pertes totales au niveau d'un filtre côté alternatif.....	57
5.4 Pertes au niveau d'une batterie de condensateurs shunt.....	57
5.5 Pertes au niveau d'une bobine d'inductance shunt	57
5.6 Pertes au niveau d'une bobine d'inductance de lissage en courant continu	58
5.7 Pertes au niveau d'un filtre côté continu.....	59
5.7.1 Généralités	59
5.7.2 Pertes au niveau d'un condensateur de filtrage à courant continu.....	59

5.7.3	Pertes au niveau d'une inductance de filtrage à courant continu	59
5.7.4	Pertes au niveau d'une résistance de filtrage à courant continu	60
5.7.5	Pertes totales au niveau d'un filtre côté continu	60
5.8	Pertes du matériel auxiliaire et du poste en service	60
5.9	Pertes au niveau d'un filtre en série	61
5.10	Autres pertes au niveau du matériel	62
Annexe A (informative) Calcul des courants et tensions harmoniques		68
A.1	Courants harmoniques dans les transformateurs de conversion	68
A.2	Courants harmoniques dans les filtres côté alternatif	68
A.3	Tensions harmoniques sur le côté continu	69
A.4	Courants harmoniques côté continu dans la bobine d'inductance de lissage	69
Annexe B (informative) Pertes types du poste		70
Annexe C (informative) Évaluation des pertes d'un poste de conversion CCHT – Illustration		71
C.1	Généralités	71
C.2	Évaluation des pertes selon différents cas	72
Bibliographie		75
Figure 1 – Matériel type en courant continu à haute tension (CCHT) pour un pôle		63
Figure 2 – Schéma triphasé simplifié d'un convertisseur à 12 impulsions à CCHT		64
Figure 3 – Circuit équivalent simplifié d'une valve type à thyristors		64
Figure 4 – Formes d'onde de courant et de tension d'une valve fonctionnant dans un convertisseur à 12 impulsions		65
Figure 5 – Courbe caractéristique d'un thyristor à l'état passant		66
Figure 6 – Courant de conduction et chute de tension		66
Figure 7 – Répartition de l'inductance de commutation entre L_1 et L_2		67
Figure 8 – Courant dans le thyristor durant le rétablissement inverse		67
Tableau B.1 – Valeurs types des pertes		70
Tableau C.1 – Conditions de calcul des pertes dans le cas D1		73
Tableau C.2 – Conditions de calcul des pertes dans le cas D2		74

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 LA LIGNE

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 61803 a été établie par le sous-comité 22F: Électronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution, du comité d'études 22 de l'IEC: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1999, l'Amendement 1:2010 et l'Amendement 2:2016. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) en vue de faciliter l'application de la norme sans en détériorer la qualité, 5.1.8 et 5.8 ont été revus en tenant compte du fait que la technologie de production de thyristors actuelle occasionne considérablement moins de dispersion dans ses paramètres par rapport à la situation de 1999, lorsque la première édition de l'IEC 61803 a été élaborée. Ainsi, les données enregistrées de production de thyristors peuvent être utilisées pour les calculs de pertes de puissance;
- b) le calcul des pertes de charge au poste totales (cas D1 et D2 à l'Annexe C) a été corrigé.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
22F/563/CDV	22F/580A/RVC

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

1 Domaine d'application

Le présent document s'applique à tous les postes de conversion en courant continu à haute tension (CCHT), commutés par la ligne, et utilisés pour l'échange de puissance (transmission de puissance ou installation dos à dos) dans des systèmes de distribution d'énergie. Le présent document présuppose l'utilisation de convertisseurs à thyristors à 12 impulsions mais peut également, en prenant 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 nœud 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 le présent document.

Le présent document décrit un ensemble de procédures types permettant de déterminer l'ensemble des pertes d'un poste de conversion à CCHT. Les procédures s'appliquent à toutes les pièces, à l'exception de celles susmentionnées, 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 des configurations de circuit originaux par rapport à la conception type prise pour hypothèse dans le présent document, ou des conceptions équipées de circuits de distribution d'énergie auxiliaires inhabituels susceptibles de modifier les pertes, sont évaluées selon leurs propres mérites.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

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

IEC 60633, *Transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Vocabulaire*

IEC 60700-1:2015, *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 1: Essais électriques*

IEC 60871-1, *Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V – Partie 1: Généralités*