

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems –
Part 1: General requirements**

**Pertes de puissance dans les valves à convertisseur de source de tension (VSC) des systèmes en courant continu à haute tension (CCHT) –
Partie 1: Exigences générales**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 29.200; 29.240

ISBN 978-2-8322-1835-8

**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 and definitions	7
3.1 Converter types	7
3.2 Semiconductor devices	7
3.3 Converter operating states	8
3.4 Device characteristics	9
3.5 Other definitions	9
4 General conditions	10
4.1 General	10
4.2 Causes of power losses	11
4.3 Categories of valve losses	11
4.4 Operating conditions	12
4.4.1 General	12
4.4.2 Reference ambient conditions	12
4.4.3 Reference a.c. system conditions	12
4.4.4 Converter operating states	12
4.4.5 Treatment of redundancy	12
4.5 Use of real measured data	13
4.5.1 General	13
4.5.2 Routine testing	13
4.5.3 Characterisation testing	13
5 Conduction losses	14
5.1 General	14
5.2 IGBT conduction losses	16
5.3 Diode conduction losses	16
5.4 Other conduction losses	17
6 D.C. voltage-dependent losses	17
7 Losses in d.c. capacitors	18
8 Switching losses	18
8.1 General	18
8.2 IGBT switching losses	19
8.3 Diode switching losses	20
9 Other losses	21
9.1 Snubber circuit losses	21
9.2 Valve electronics power consumption	21
10 Total valve losses per converter substation	22
Annex A (informative) Determination of power losses in other HVDC substation equipment	25
A.1 General	25
A.2 Guidance for calculating losses in each equipment	25
A.2.1 Circuit breaker	25
A.2.2 Pre-insertion resistor	25
A.2.3 Line side harmonic filter	26

A.2.4	Line side high frequency filter	26
A.2.5	Interface transformer	26
A.2.6	Converter side harmonic filter	27
A.2.7	Converter side high frequency filter	27
A.2.8	Phase reactor	27
A.2.9	VSC unit	27
A.2.10	VSC d.c. capacitor	27
A.2.11	D.C. harmonic filter	27
A.2.12	Dynamic braking system	27
A.2.13	Neutral point grounding branch	28
A.2.14	D.C. reactor	28
A.2.15	Common mode blocking reactor	28
A.2.16	D.C. side high frequency filter	28
A.2.17	D.C. cable or overhead transmission line	28
A.3	Auxiliaries and station service losses	29
Bibliography		30
Figure 1 – On-state voltage of an IGBT or diode		14
Figure 2 – Piecewise-linear representation of IGBT or diode on-state voltage		15
Figure 3 – IGBT switching energy as a function of collector current		19
Figure 4 – Diode recovery energy as a function of current		20
Figure A.1 – Major components that may be found in a VSC substation		26
Table 1 – Matrix indicating the relationship of data needed for calculation of losses and the type of valve losses (1 of 2)		23

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER LOSSES IN VOLTAGE SOURCED CONVERTER (VSC) VALVES FOR HIGH-VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) SYSTEMS –

Part 1: General requirements

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 62751-1 has been prepared by subcommittee 22F: Power electronics for electrical transmission and distribution systems, of IEC technical committee 22: Power electronic systems and equipment.

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

CDV	Report on voting
22F/302/CDV	22F/321A/RVC

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.

A list of all parts in the IEC 62751series, published under the general title *Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication 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 document using a colour printer.

POWER LOSSES IN VOLTAGE SOURCED CONVERTER (VSC) VALVES FOR HIGH-VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) SYSTEMS –

Part 1: General requirements

1 Scope

This part of IEC 62751 sets out the general principles for calculating the power losses in the converter valves of a voltage sourced converter (VSC) for high-voltage direct current (HVDC) applications, independent of the converter topology. Clauses 6 and 8 and subclauses 9.1, 9.2 and A.2.12 of the standard can also be used for calculating the power losses in the dynamic braking valves (where used) and as guidance for calculating the power losses of the valves for a STATCOM installation.

Power losses in other items of equipment in the HVDC substation, apart from the converter valves, are excluded from the scope of this standard. Power losses in most equipment in a VSC substation can be calculated using similar procedures to those prescribed for HVDC systems with line-commutated converters (LCC) in IEC 61803. Annex A presents the main differences between LCC and VSC HVDC substations in so far as they influence the method for determining power losses of other equipment.

This standard does not apply to converter valves for line-commutated converter HVDC systems.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

IEC 60747-2, *Semiconductor devices – Discrete devices and integrated circuits – Part 2: Rectifier diodes*

IEC 60747-9:2007, *Semiconductor devices – Discrete devices – Part 9: Insulated-gate bipolar transistors (IGBTs)*

IEC 62747:2014, *Terminology for voltage-sourced converters (VSC) for high-voltage direct current (HVDC) systems*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	34
1 Domaine d'application	36
2 Références normatives	36
3 Termes et définitions	37
3.1 Types de convertisseurs	37
3.2 Dispositifs à semiconducteurs	37
3.3 Etats de fonctionnement du convertisseur	38
3.4 Caractéristiques du dispositif	39
3.5 Autres définitions	39
4 Conditions générales	40
4.1 Généralités	40
4.2 Causes des pertes de puissance	41
4.3 Catégories de pertes de la valve	42
4.4 Conditions de fonctionnement	42
4.4.1 Généralités	42
4.4.2 Conditions ambiantes de référence	42
4.4.3 Conditions du système c.a. de référence	42
4.4.4 Etats de fonctionnement du convertisseur	42
4.4.5 Traitement des redondances	43
4.5 Utilisation des données mesurées réelles	43
4.5.1 Généralités	43
4.5.2 Essais individuels de série	43
4.5.3 Essais de caractérisation	44
5 Pertes de conduction	44
5.1 Généralités	44
5.2 Pertes de conduction de l'IGBT	47
5.3 Pertes de conduction de la diode	47
5.4 Autres pertes de conduction	47
6 Pertes dépendant de la tension c.c.	48
7 Pertes dans les condensateurs c.c.	48
8 Pertes de commutation	49
8.1 Généralités	49
8.2 Pertes de commutation de l'IGBT	50
8.3 Pertes de commutation de la diode	51
9 Autres pertes	52
9.1 Pertes du circuit d'amortissement	52
9.2 Consommation de puissance de l'électronique de valve	53
10 Pertes totales de la valve par poste de convertisseur	53
Annexe A (informative) Détermination des pertes de puissance dans d'autres équipements du poste CCHT	56
A.1 Généralités	56
A.2 Lignes directrices pour le calcul des pertes dans chaque équipement	56
A.2.1 Disjoncteur	56
A.2.2 Résistance de pré-insertion	56
A.2.3 Filtre d'harmonique côté réseau	57

A.2.4	Filtre haute fréquence côté réseau	57
A.2.5	Transformateur d'interface.....	57
A.2.6	Filtre d'harmonique côté convertisseur	58
A.2.7	Filtre haute fréquence côté convertisseur	58
A.2.8	Inductance de phase	58
A.2.9	Unité VSC.....	58
A.2.10	Condensateur c.c. à VSC.....	58
A.2.11	Filtre d'harmonique c.c.	58
A.2.12	Système à freinage dynamique.....	59
A.2.13	Branche de mise à la terre du point neutre	59
A.2.14	Inductance c.c.	59
A.2.15	Inductance de blocage en mode commun	59
A.2.16	Filtre haute fréquence côté c.c.....	60
A.2.17	Câble c.c. ou ligne de transport aérienne.....	60
A.3	Pertes des équipements auxiliaires et du poste en service.....	60
	Bibliographie.....	61
	Figure 1 – Tension à l'état passant d'un IGBT ou d'une diode.....	45
	Figure 2 – Représentation linéaire segmentée de la tension à l'état passant de l'IGBT ou de la diode	46
	Figure 3 – Energie de commutation de l'IGBT en fonction du courant du collecteur.....	50
	Figure 4 – Energie de rétablissement de la diode en fonction du courant	52
	Figure A.1 – Principaux composants susceptibles de composer un poste à VSC.....	57
	Tableau 1 – Matrice indiquant la relation des données nécessaires au calcul des pertes et le type de pertes de la valve (1 sur 2)	54

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PERTES DE PUISSANCE DANS LES VALVES À CONVERTISSEUR DE SOURCE DE TENSION (VSC) DES SYSTEMES EN COURANT CONTINU À HAUTE TENSION (CCHT)

Partie 1: Exigences générales

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique 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. A 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 62751-1 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 l'IEC: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
22F/302/CDV	22F/321A/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.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62751, publiées sous le titre général *Pertes de puissance dans les valves à convertisseur de source de tension (VSC) des systèmes en courant continu à haute tension (CCHT)*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication 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 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.

PERTES DE PUISSANCE DANS LES VALVES À CONVERTISSEUR DE SOURCE DE TENSION (VSC) DES SYSTEMES EN COURANT CONTINU À HAUTE TENSION (CCHT)

Partie 1: Exigences générales

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62751 définit les principes généraux de calcul des pertes de puissance dans les valves à convertisseur de source de tension (VSC¹) pour des applications en courant continu à haute tension (CCHT), quelle que soit la topologie du convertisseur. Les Articles 6 et 8 et les paragraphes 9.1, 9.2 et A.2.12 de la norme peuvent également être utilisés pour calculer les pertes de puissance dans les valves à freinage dynamique (le cas échéant) et comme guide pour le calcul des pertes de puissance des valves d'une installation STATCOM.

Les pertes de puissance dans d'autres parties de l'équipement du poste CCHT, outre les valves à convertisseur, sont exclues du domaine d'application de la présente norme. Dans la plupart des équipements d'un poste à VSC, les pertes de puissance peuvent être calculées à l'aide des mêmes procédures que celles indiquées pour les systèmes CCHT munis de convertisseurs commutés par le réseau (CCR) de l'IEC 61803. L'Annexe A présente les principales différences entre les postes CCHT à CCR et à VSC, pour autant qu'elles influencent la méthode de détermination des pertes de puissance d'autres équipements.

La présente norme ne s'applique pas aux valves à convertisseur des systèmes CCHT munis de convertisseurs commutés par le réseau.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 60633, *Terminologie pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT)*

IEC 60747-2, *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs discrets et circuits intégrés – Partie 2: Diodes de redressement*

IEC 60747-9:2007, *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs discrets – Partie 9: Transistors bipolaires à grille isolée (IGBT)*

IEC 62747:2014, *Terminologie relative aux convertisseurs de source de tension (VSC) des systèmes en courant continu à haute tension (CCHT)*

¹ Voltage sourced converter en anglais.