IEC 62751-2

Edition 1.2 2023-08
CONSOLIDATED VERSION

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems – Part 2: Modular multilevel converters

Pertes de puissance dans les valves à convertisseur de source de tension (VSC) des systèmes en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 2: Convertisseurs multiniveaux modulaires

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.200, 29.240.99

ISBN 978-2-8322-7472-9

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.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

IEC 62751-2

Edition 1.2 2023-08
CONSOLIDATED VERSION

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE

colour inside

Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems – Part 2: Modular multilevel converters

Pertes de puissance dans les valves à convertisseur de source de tension (VSC) des systèmes en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 2: Convertisseurs multiniveaux modulaires



IEC 62751-2 2014-08+AMD1:2019-08+AMD2:2023-08 CSV(en-fr)

CONTENTS

FOREWORD 5
1 Scope 7
2 Normative references 7
3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms 7
3.1 Terms and definitions 8
3.2 Symbols and abbreviated terms 9
3.2.1 Valve and simulation data 9
3.2.2 Semiconductor device characteristics 10
3.2.3 Other component characteristics 10
3.2.4 Operating parameters 10
3.2.5 Loss parameters 11
4 General conditions 11
4.1 General 11
4.2 Principles for loss determination 12
4.3 Categories of valve losses 12
4.4 Loss calculation method 13
4.5 Input parameters 13
4.5.1 General 13
4.5.2 Input data for numerical simulations 13
4.5.3 Input data coming from numerical simulations 15
4.5.4 Converter station data 15
4.5.5 Operating conditions 16
4.6 Contents and structure of valve loss determination report 16
5 Conduction losses 16
5.1 General 16
5.2 IGBT conduction losses 18
5.3 Diode conduction losses 19
5.4 Other conduction losses 20
6 DC voltage-dependent losses 21
7 Losses in d.c. capacitors of the valve 21
8 Switching losses 22
8.1 General 22
8.2 IGBT switching losses 22
8.3 Diode switching losses 23
9 Other losses 23
9.1 Snubber circuit losses 23
9.2 Valve electronics power consumption 24
9.2.1 General 24
9.2.2 Power supply from off-state voltage across each IGBT 25
9.2.3 Power supply from the d.c. capacitor 25
10 Total valve losses per HVDC substation 26
Annex A (informative) Description of power loss mechanisms in MMC valves 28
A.1 Introduction to MMC Converter topology 28
A.2 Valve voltage and current stresses 31
A.2.1 Simplified analysis with voltage and current in phase 31
A.2.2 Generalised analysis with voltage and current out of phase 32

A.2.3 Effects of third harmonic injection 33
A.3 Conduction losses in MMC building blocks 34
A.3.1 Description of conduction paths 34
A.3.2 Conduction losses in semiconductors 40
A.3.3 MMC building block d.c. capacitor losses 44
A.3.4 Other conduction losses 45
A.4 Switching losses 45
A.4.1 Description of state changes 45
A.4.2 Analysis of state changes during cycle 46
A.4.3 Worked example of switching losses 47
A.5 Other losses 50
A.5.1 Snubber losses 50
A.5.2 DC voltage-dependent losses 50
A.5.3 Valve electronics power consumption 53
A.6 Application to other variants of valve 55
A.6.1 General 55
A.6.2 Two-level full-bridge MMC building block 55
A.6.3 Multi-level MMC building blocks 56
Annex B (informative) Recommended data to be supplied with the loss calculation report 58
Annex C (informative) Loss measurement 60
Bibliography 61

Figure 1 – Two basic versions of MMC building block designs 16
Figure 2 – Conduction paths in MMC building blocks 17
Figure A.1 – Phase unit of the modular multi-level converter (MMC) in basic half-bridge, two-level arrangement, with submodules 29
Figure A.2 – Phase unit of the cascaded two-level converter (CTL) in half-bridge form 30
Figure A.3 – Basic operation of the MMC converters 31
Figure A.4 – MMC converters showing composition of valve current 32
Figure A.5 – Phasor diagram showing a.c. system voltage, converter a.c. voltage and converter a.c. current 33
Figure A.6 – Effect of 3rd harmonic injection on converter voltage and current 34
Figure A.7 – Two functionally equivalent variants of a “half-bridge”, two-level MMC building block 35
Figure A.8 – Conducting states in “half-bridge”, two-level MMC building block 36
Figure A.9 – Typical patterns of conduction for inverter operation (left) and rectifier operation (right), based on the submodule configuration of Figure A.7 a) 37
Figure A.10 – Example of converter with only one MMC building block per valve to illustrate switching behaviour 38
Figure A.11 – Inverter operation example of switching events 38
Figure A.12 – Rectifier operation example of switching events 39
Figure A.13 – Valve current and mean rectified valve current 41
Figure A.14 – IGBT and diode switching energy as a function of collector current 46
Figure A.15 – Valve voltage, current and switching behaviour for a hypothetical MMC valve consisting of 5 submodules 48
Figure A.16 – Power supply from IGBT terminals 53

Figure A.17 – Power supply from IGBT terminals in cell 54
Figure A.18 – Power supply from d.c. capacitor in submodule 55
Figure A.19 – One “full-bridge”, two-level MMC building block 56
Figure A.20 – Four possible variants of three-level MMC building block 57

Table 1 – Contributions to valve losses in different operating modes 27
Table A.1 – Hard switching events 45
Table A.2 – Soft switching events 46
Table A.3 – Summary of switching events from Figure A.15 49
Table B.1 – Valve loss data 58
Table B.2 – Other data 59

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

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

Part 2: Modular multilevel 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 the official IEC Standard and its amendments has been prepared for user convenience.

IEC 62751-2 edition 1.2 contains the first edition (2014-08) [documents 22F/303/CDV and 22F/322A/RVC], its amendment 1 (2019-08) [documents 22F/479/CDV and 22F/488B/RVC] and its amendment 2 (2023-08) [documents 22F/712/CDV and 22F/726/RVC].

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendments 1 and 2. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

International Standard IEC 62751-2 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 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 document and its amendments will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under 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.

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 2: Modular multilevel converters

1 Scope

This part of IEC 62751 gives the detailed method to be adopted for calculating the power losses in the valves for an HVDC system based on the “modular multi-level converter”, where each valve in the converter consists of a number of self-contained, two-terminal controllable voltage sources connected in series. It is applicable both for the cases where each modular cell uses only a single turn-off semiconductor device in each switch position, and the case where each switch position consists of a number of turn-off semiconductor devices in series (topology also referred to as “cascaded two-level converter”). The main formulae are given for the two-level “half-bridge” configuration but guidance is also given in Annex A as to how to extend the results to certain other types of MMC building block configuration.

The standard is written mainly for insulated gate bipolar transistors (IGBTs) but may also be used for guidance in the event that other types of turn-off semiconductor devices are used.

Power losses in other items of equipment in the HVDC station, apart from the converter valves, are excluded from the scope of this standard.

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 61803, *Determination of power losses in high-voltage direct current (HVDC) converter stations*

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

IEC 62751-1:2014, *Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems – Part 1: General* requirements

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 65
1 Domaine d'application 67
2 Références normatives 67
3 Termes, définitions, symboles et abréviations 68
3.1 Termes et définitions 68
3.2 Symboles et abréviations 70
3.2.1 Valve et données de simulation 70
3.2.2 Caractéristiques du dispositif à semi-conducteur 70
3.2.3 Autres caractéristiques de composant 71
3.2.4 Paramètres de fonctionnement 71
3.2.5 Paramètres de perte 72
4 Conditions générales 72
4.1 Généralités 72
4.2 Principe de détermination des pertes 72
4.3 Catégories de pertes de la valve 73
4.4 Méthode de calcul des pertes 73
4.5 Paramètres d'entrée 74
4.5.1 Généralités 74
4.5.2 Données d'entrée pour les simulations numériques 74
4.5.3 Données d'entrée provenant des simulations numériques 75
4.5.4 Données du poste de conversion 76
4.5.5 Conditions de fonctionnement 76
4.6 Contenu et structure du rapport de détermination des pertes de la valve 77
5 Pertes de conduction 77
5.1 Généralités 77
5.2 Pertes de conduction de l'IGBT 79
5.3 Pertes de conduction de la diode 80
5.4 Autres pertes de conduction 81
6 Pertes dépendant de la tension c.c. 82
7 Pertes dans les condensateurs c.c. de la valve 82
8 Pertes de commutation 83
8.1 Généralités 83
8.2 Pertes de commutation de l'IGBT 83
8.3 Pertes de commutation de la diode 84
9 Autres pertes 84
9.1 Pertes du circuit d'amortissement 84
9.2 Consommation de puissance de l'électronique de valve 85
9.2.1 Généralités 85
9.2.2 Alimentation électrique à partir de la tension à l'état bloqué de chaque IGBT 86
9.2.3 Alimentation électrique à partir du condensateur c.c. 87
10 Pertes totales de la valve par poste CCHT 88
Annexe A (informative) Description des mécanismes de perte de puissance dans les valves à MMC 89
A.1 Introduction à la topologie du convertisseur MMC 89
A.2 Tension de valve et contraintes de courant 92

A.2.1 Analyse simplifiée avec tension et courant en phase 92
A.2.2 Analyse généralisée avec déphasage de tension et de courant 94
A.2.3 Effets de l'injection du troisième harmonique 96
A.3 Pertes de conduction dans les blocs modules MMC 97
A.3.1 Description des chemins de conduction 97
A.3.2 Pertes de conduction dans les semi-conducteurs 103
A.3.3 Pertes du condensateur c.c. du bloc module MMC 109
A.3.4 Autres pertes de conduction 109
A.4 Pertes de commutation 109
A.4.1 Description des changements d'état 109
A.4.2 Analyse des changements d'état pendant le cycle 111
A.4.3 Exemple pratique de pertes de commutation 112
A.5 Autres pertes 115
A.5.1 Pertes du circuit d'amortissement 115
A.5.2 Pertes dépendant de la tension c.c. 115
A.5.3 Consommation de puissance de l'électronique de valve 118
A.6 Application à d'autres variantes de valve 121
A.6.1 Généralités 121
A.6.2 Bloc module MMC en pont intégral à deux niveaux 121
A.6.3 Blocs modules MMC multiniveaux 122
Annexe B (informative) Données recommandées à fournir dans le rapport de calcul des pertes 125
Annexe C (informative) Mesurage des pertes 127
Bibliographie 128

Figure 1 – Deux versions de base des conceptions de bloc module MMC 77
Figure 2 – Chemins de conduction dans les blocs module MMC 78
Figure A.1 – Unité de phase du convertisseur multiniveaux modulaire (MMC) en disposition à deux niveaux en demi-pont, avec sous-modules 90
Figure A.2 – Unité de phase du convertisseur à deux niveaux monté en cascade (CTL) en demi-pont 91
Figure A.3 – Fonctionnement de base des convertisseurs MMC 92
Figure A.4 – Convertisseurs MMC montrant la composition du courant de valve 94
Figure A.5 – Schéma de phase illustrant la tension d'un système c.a., la tension c.a. d'un convertisseur et le courant c.a. d'un convertisseur 96
Figure A.6 – Effet de l'injection du 3ème harmonique sur la tension et le courant du convertisseur 97
Figure A.7 – Deux variantes équivalentes d'un point de vue fonctionnel d'un bloc module MMC à deux niveaux "en demi-pont" 98
Figure A.8 – États de conduction dans un bloc module MMC à deux niveaux "en demi-pont" 99
Figure A.9 – Modèles de conduction classiques pour le mode de fonctionnement en onduleur (à gauche) et le mode de fonctionnement en redresseur (à droite) , basés sur la configuration du sous-module de la Figure A.7 a) 100
Figure A.10 – Exemple de convertisseur doté d'un seul bloc module MMC par valve afin d'illustrer le comportement de commutation 101
Figure A.11 – Exemple de fonctionnement en mode onduleur des événements de commutation 102

Figure A.12 – Exemple de fonctionnement en mode redresseur des événements de commutation 102
Figure A.13 – Courant de valve et courant de valve redressé moyen 105
Figure A.14 – Énergie de commutation de l'IGBT et de la diode en fonction du courant du collecteur 110
Figure A.15 – Tension, courant et comportement de commutation d'une valve MMC hypothétique composée de 5 sous-modules 113
Figure A.16 – Alimentation à partir des bornes de l'IGBT 119
Figure A.17 – Alimentation à partir des bornes de l'IGBT de la cellule 120
Figure A.18 – Alimentation à partir du condensateur c.c. du sous-module 121
Figure A.19 – Bloc module MMC à deux niveaux «en pont intégral» 122
Figure A.20 – Quatre variantes possibles de bloc module MMC à trois niveaux 123

Tableau 1 – Contributions aux pertes de valve dans les différents modes de fonctionnement 88
Tableau A.1 – Événements de commutation durs 110
Tableau A.2 – Événements de commutation doux 111
Tableau A.3 – Récapitulatif des événements de commutation issus de la Figure A.15 114
Tableau B.1 – Données des pertes de la valve 125
Tableau B.2 – Autres données 126

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 2: Convertisseurs multiniveaux modulaires

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.

Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de ses amendements a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

L'IEC 62751-2 édition 1.2 contient la première édition (2014-08) [documents 22F/303/CDV et 22F/322A/RVC], son amendement 1 (2019-08) [documents 22F/479/CDV et 22F/488B/RVC] et son amendement 2 (2023-08) [documents 22F/712/CDV and 22F/726/RVC].

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par les amendements 1 et 2. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 62751-2 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 publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de l'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 ce document et de ses amendements ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous 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.

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 2: Convertisseurs multiniveaux modulaires

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62571 donne la méthode détaillée à adopter pour calculer les pertes de puissance dans les valves d'un système CCHT doté d'un «convertisseur multiniveaux modulaire» dont chaque valve est composée d'un certain nombre de sources de tension indépendantes commandables à deux bornes connectées en série. Elle s'applique lorsque chaque cellule modulaire n'utilise qu'un seul dispositif à semi-conducteur blocable dans chaque position de commutation, et lorsque chaque position de commutation est composée d'un certain nombre de dispositifs à semi-conducteur blocables en série (cette topologie étant également appelée «convertisseur à deux niveaux monté en cascade»). Les principales formules sont données pour la configuration "en demi-pont" à deux niveaux. Des lignes directrices sont également données à l'Annexe A pour indiquer l'étendue des résultats de certains autres types de configurations de bloc module MMC.

La norme a été essentiellement élaborée pour les transistors bipolaires à grille isolée (IGBT), mais elle peut également être utilisée comme guide en cas d'utilisation d'autres dispositifs à semi-conducteur blocables.

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.

Les valves à convertisseur des systèmes CCHT munis de convertisseurs commutés par le réseau sont exclues de la présente norme.

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 61803, *Détermination des pertes en puissance dans les postes de conversion en courant continu à haute tension (CCHT)*

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

IEC 62751-1:2014, *Pertes de puissance dans les valves à convertisseur à source de tension (VSC) des systèmes de transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 1: Exigences générales*

ISO/IEC Guide 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

IEC 62751-2

Edition 1.2 2023-08
CONSOLIDATED VERSION

FINAL VERSION

VERSION FINALE

colour inside

Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems – Part 2: Modular multilevel converters

Pertes de puissance dans les valves à convertisseur de source de tension (VSC) des systèmes en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 2: Convertisseurs multiniveaux modulaires



IEC 62751-2 2014-08+AMD1:2019-08+AMD2:2023-08 CSV(en-fr)

CONTENTS

FOREWORD 5
1 Scope 7
2 Normative references 7
3 Terms, definitions, symbols and abbreviated terms 7
3.1 Terms and definitions 8
3.2 Symbols and abbreviated terms 9
3.2.1 Valve and simulation data 9
3.2.2 Semiconductor device characteristics 10
3.2.3 Other component characteristics 10
3.2.4 Operating parameters 10
3.2.5 Loss parameters 11
4 General conditions 11
4.1 General 11
4.2 Principles for loss determination 12
4.3 Categories of valve losses 12
4.4 Loss calculation method 13
4.5 Input parameters 13
4.5.1 General 13
4.5.2 Input data for numerical simulations 13
4.5.3 Input data coming from numerical simulations 14
4.5.4 Converter station data 15
4.5.5 Operating conditions 15
4.6 Contents and structure of valve loss determination report 16
5 Conduction losses 16
5.1 General 16
5.2 IGBT conduction losses 18
5.3 Diode conduction losses 19
5.4 Other conduction losses 20
6 DC voltage-dependent losses 20
7 Losses in d.c. capacitors of the valve 21
8 Switching losses 21
8.1 General 21
8.2 IGBT switching losses 22
8.3 Diode switching losses 22
9 Other losses 23
9.1 Snubber circuit losses 23
9.2 Valve electronics power consumption 24
9.2.1 General 24
9.2.2 Power supply from off-state voltage across each IGBT 24
9.2.3 Power supply from the d.c. capacitor 25
10 Total valve losses per HVDC substation 26
Annex A (informative) Description of power loss mechanisms in MMC valves 27
A.1 Introduction to MMC Converter topology 27
A.2 Valve voltage and current stresses 30
A.2.1 Simplified analysis with voltage and current in phase 30
A.2.2 Generalised analysis with voltage and current out of phase 31

A.2.3 Effects of third harmonic injection 32
A.3 Conduction losses in MMC building blocks 33
A.3.1 Description of conduction paths 33
A.3.2 Conduction losses in semiconductors 39
A.3.3 MMC building block d.c. capacitor losses 43
A.3.4 Other conduction losses 43
A.4 Switching losses 43
A.4.1 Description of state changes 43
A.4.2 Analysis of state changes during cycle 45
A.4.3 Worked example of switching losses 45
A.5 Other losses 48
A.5.1 Snubber losses 48
A.5.2 DC voltage-dependent losses 48
A.5.3 Valve electronics power consumption 51
A.6 Application to other variants of valve 53
A.6.1 General 53
A.6.2 Two-level full-bridge MMC building block 53
A.6.3 Multi-level MMC building blocks 54
Annex B (informative) Recommended data to be supplied with the loss calculation report 56
Annex C (informative) Loss measurement 58
Bibliography 59

Figure 1 – Two basic versions of MMC building block designs 16
Figure 2 – Conduction paths in MMC building blocks 17
Figure A.1 – Phase unit of the modular multi-level converter (MMC) in basic half-bridge, two-level arrangement, with submodules 28
Figure A.2 – Phase unit of the cascaded two-level converter (CTL) in half-bridge form 29
Figure A.3 – Basic operation of the MMC converters 30
Figure A.4 – MMC converters showing composition of valve current 31
Figure A.5 – Phasor diagram showing a.c. system voltage, converter a.c. voltage and converter a.c. current 32
Figure A.6 – Effect of 3rd harmonic injection on converter voltage and current 33
Figure A.7 – Two functionally equivalent variants of a “half-bridge”, two-level MMC building block 34
Figure A.8 – Conducting states in “half-bridge”, two-level MMC building block 35
Figure A.9 – Typical patterns of conduction for inverter operation (left) and rectifier operation (right), based on the submodule configuration of Figure A.7 a) 36
Figure A.10 – Example of converter with only one MMC building block per valve to illustrate switching behaviour 37
Figure A.11 – Inverter operation example of switching events 37
Figure A.12 – Rectifier operation example of switching events 38
Figure A.13 – Valve current and mean rectified valve current 40
Figure A.14 – IGBT and diode switching energy as a function of collector current 44
Figure A.15 – Valve voltage, current and switching behaviour for a hypothetical MMC valve consisting of 5 submodules 46
Figure A.16 – Power supply from IGBT terminals 51

Figure A.17 – Power supply from IGBT terminals in cell 52
Figure A.18 – Power supply from d.c. capacitor in submodule 53
Figure A.19 – One “full-bridge”, two-level MMC building block 54
Figure A.20 – Four possible variants of three-level MMC building block 55

Table 1 – Contributions to valve losses in different operating modes 26
Table A.1 – Hard switching events 44
Table A.2 – Soft switching events 45
Table A.3 – Summary of switching events from Figure A.15 47
Table B.1 – Valve loss data 56
Table B.2 – Other data 57

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

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

Part 2: Modular multilevel 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 the official IEC Standard and its amendments has been prepared for user convenience.

IEC 62751-2 edition 1.2 contains the first edition (2014-08) [documents 22F/303/CDV and 22F/322A/RVC], its amendment 1 (2019-08) [documents 22F/479/CDV and 22F/488B/RVC] and its amendment 2 (2023-08) [documents 22F/712/CDV and 22F/726/RVC].

This Final version does not show where the technical content is modified by amendments 1 and 2. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

International Standard IEC 62751-2 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 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 document and its amendments will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under 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.

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 2: Modular multilevel converters

1 Scope

This part of IEC 62751 gives the detailed method to be adopted for calculating the power losses in the valves for an HVDC system based on the “modular multi-level converter”, where each valve in the converter consists of a number of self-contained, two-terminal controllable voltage sources connected in series. It is applicable both for the cases where each modular cell uses only a single turn-off semiconductor device in each switch position, and the case where each switch position consists of a number of turn-off semiconductor devices in series (topology also referred to as “cascaded two-level converter”). The main formulae are given for the two-level “half-bridge” configuration but guidance is also given in Annex A as to how to extend the results to certain other types of MMC building block configuration.

The standard is written mainly for insulated gate bipolar transistors (IGBTs) but may also be used for guidance in the event that other types of turn-off semiconductor devices are used.

Power losses in other items of equipment in the HVDC station, apart from the converter valves, are excluded from the scope of this standard.

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 61803, *Determination of power losses in high-voltage direct current (HVDC) converter stations*

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

IEC 62751-1:2014, *Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems – Part 1: General* requirements

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 63
1 Domaine d'application 65
2 Références normatives 65
3 Termes, définitions, symboles et abréviations 66
3.1 Termes et définitions 66
3.2 Symboles et abréviations 68
3.2.1 Valve et données de simulation 68
3.2.2 Caractéristiques du dispositif à semi-conducteur 68
3.2.3 Autres caractéristiques de composant 69
3.2.4 Paramètres de fonctionnement 69
3.2.5 Paramètres de perte 70
4 Conditions générales 70
4.1 Généralités 70
4.2 Principe de détermination des pertes 70
4.3 Catégories de pertes de la valve 71
4.4 Méthode de calcul des pertes 71
4.5 Paramètres d'entrée 72
4.5.1 Généralités 72
4.5.2 Données d'entrée pour les simulations numériques 72
4.5.3 Données d'entrée provenant des simulations numériques 73
4.5.4 Données du poste de conversion 73
4.5.5 Conditions de fonctionnement 74
4.6 Contenu et structure du rapport de détermination des pertes de la valve 74
5 Pertes de conduction 75
5.1 Généralités 75
5.2 Pertes de conduction de l'IGBT 77
5.3 Pertes de conduction de la diode 78
5.4 Autres pertes de conduction 79
6 Pertes dépendant de la tension c.c. 80
7 Pertes dans les condensateurs c.c. de la valve 80
8 Pertes de commutation 81
8.1 Généralités 81
8.2 Pertes de commutation de l'IGBT 81
8.3 Pertes de commutation de la diode 82
9 Autres pertes 82
9.1 Pertes du circuit d'amortissement 82
9.2 Consommation de puissance de l'électronique de valve 83
9.2.1 Généralités 83
9.2.2 Alimentation électrique à partir de la tension à l'état bloqué de chaque IGBT 84
9.2.3 Alimentation électrique à partir du condensateur c.c. 85
10 Pertes totales de la valve par poste CCHT 85
Annexe A (informative) Description des mécanismes de perte de puissance dans les valves à MMC 87
A.1 Introduction à la topologie du convertisseur MMC 87
A.2 Tension de valve et contraintes de courant 90

A.2.1 Analyse simplifiée avec tension et courant en phase 90
A.2.2 Analyse généralisée avec déphasage de tension et de courant 92
A.2.3 Effets de l'injection du troisième harmonique 94
A.3 Pertes de conduction dans les blocs modules MMC 95
A.3.1 Description des chemins de conduction 95
A.3.2 Pertes de conduction dans les semi-conducteurs 101
A.3.3 Pertes du condensateur c.c. du bloc module MMC 105
A.3.4 Autres pertes de conduction 105
A.4 Pertes de commutation 105
A.4.1 Description des changements d'état 105
A.4.2 Analyse des changements d'état pendant le cycle 107
A.4.3 Exemple pratique de pertes de commutation 108
A.5 Autres pertes 111
A.5.1 Pertes du circuit d'amortissement 111
A.5.2 Pertes dépendant de la tension c.c. 111
A.5.3 Consommation de puissance de l'électronique de valve 114
A.6 Application à d'autres variantes de valve 117
A.6.1 Généralités 117
A.6.2 Bloc module MMC en pont intégral à deux niveaux 117
A.6.3 Blocs modules MMC multiniveaux 118
Annexe B (informative) Données recommandées à fournir dans le rapport de calcul des pertes 121
Annexe C (informative) Mesurage des pertes 123
Bibliographie 124

Figure 1 – Deux versions de base des conceptions de bloc module MMC 75
Figure 2 – Chemins de conduction dans les blocs module MMC 76
Figure A.1 – Unité de phase du convertisseur multiniveaux modulaire (MMC) en disposition à deux niveaux en demi-pont, avec sous-modules 88
Figure A.2 – Unité de phase du convertisseur à deux niveaux monté en cascade (CTL) en demi-pont 89
Figure A.3 – Fonctionnement de base des convertisseurs MMC 90
Figure A.4 – Convertisseurs MMC montrant la composition du courant de valve 92
Figure A.5 – Schéma de phase illustrant la tension d'un système c.a., la tension c.a. d'un convertisseur et le courant c.a. d'un convertisseur 94
Figure A.6 – Effet de l'injection du 3ème harmonique sur la tension et le courant du convertisseur 95
Figure A.7 – Deux variantes équivalentes d'un point de vue fonctionnel d'un bloc module MMC à deux niveaux "en demi-pont" 96
Figure A.8 – États de conduction dans un bloc module MMC à deux niveaux "en demi-pont" 97
Figure A.9 – Modèles de conduction classiques pour le mode de fonctionnement en onduleur (à gauche) et le mode de fonctionnement en redresseur (à droite) , basés sur la configuration du sous-module de la Figure A.7 a) 98
Figure A.10 – Exemple de convertisseur doté d'un seul bloc module MMC par valve afin d'illustrer le comportement de commutation 99
Figure A.11 – Exemple de fonctionnement en mode onduleur des événements de commutation 100

Figure A.12 – Exemple de fonctionnement en mode redresseur des événements de commutation 100
Figure A.13 – Courant de valve et courant de valve redressé moyen 102
Figure A.14 – Énergie de commutation de l'IGBT et de la diode en fonction du courant du collecteur 107
Figure A.15 – Tension, courant et comportement de commutation d'une valve MMC hypothétique composée de 5 sous-modules 109
Figure A.16 – Alimentation à partir des bornes de l'IGBT 115
Figure A.17 – Alimentation à partir des bornes de l'IGBT de la cellule 116
Figure A.18 – Alimentation à partir du condensateur c.c. du sous-module 117
Figure A.19 – Bloc module MMC à deux niveaux «en pont intégral» 118
Figure A.20 – Quatre variantes possibles de bloc module MMC à trois niveaux 119

Tableau 1 – Contributions aux pertes de valve dans les différents modes de fonctionnement 86
Tableau A.1 – Événements de commutation durs 106
Tableau A.2 – Événements de commutation doux 107
Tableau A.3 – Récapitulatif des événements de commutation issus de la Figure A.15 110
Tableau B.1 – Données des pertes de la valve 121
Tableau B.2 – Autres données 122

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 2: Convertisseurs multiniveaux modulaires

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.

Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de ses amendements a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

L'IEC 62751-2 édition 1.2 contient la première édition (2014-08) [documents 22F/303/CDV et 22F/322A/RVC], son amendement 1 (2019-08) [documents 22F/479/CDV et 22F/488B/RVC] et son amendement 2 (2023-08) [documents 22F/712/CDV and 22F/726/RVC].

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par les amendements 1 et 2. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 62751-2 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 publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de l'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 ce document et de ses amendements ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous 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.

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 2: Convertisseurs multiniveaux modulaires

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62571 donne la méthode détaillée à adopter pour calculer les pertes de puissance dans les valves d'un système CCHT doté d'un «convertisseur multiniveaux modulaire» dont chaque valve est composée d'un certain nombre de sources de tension indépendantes commandables à deux bornes connectées en série. Elle s'applique lorsque chaque cellule modulaire n'utilise qu'un seul dispositif à semi-conducteur blocable dans chaque position de commutation, et lorsque chaque position de commutation est composée d'un certain nombre de dispositifs à semi-conducteur blocables en série (cette topologie étant également appelée «convertisseur à deux niveaux monté en cascade»). Les principales formules sont données pour la configuration "en demi-pont" à deux niveaux. Des lignes directrices sont également données à l'Annexe A pour indiquer l'étendue des résultats de certains autres types de configurations de bloc module MMC.

La norme a été essentiellement élaborée pour les transistors bipolaires à grille isolée (IGBT), mais elle peut également être utilisée comme guide en cas d'utilisation d'autres dispositifs à semi-conducteur blocables.

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.

Les valves à convertisseur des systèmes CCHT munis de convertisseurs commutés par le réseau sont exclues de la présente norme.

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 61803, *Détermination des pertes en puissance dans les postes de conversion en courant continu à haute tension (CCHT)*

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

IEC 62751-1:2014, *Pertes de puissance dans les valves à convertisseur à source de tension (VSC) des systèmes de transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 1: Exigences générales*

ISO/IEC Guide 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*