

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

AMENDMENT 2 AMENDEMENT 2

**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**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2023 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee, ...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

AMENDMENT 2
AMENDEMENT 2

**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 978-2-8322-7446-0

**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.**

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

Part 2: Modular multilevel converters

AMENDMENT 2

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 document may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

Amendment 2 to IEC 62751-2:2014 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 Amendment is based on the following documents:

Draft	Report on voting
22F/712/CDV	22F/726/RVC

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

The language used for the development of this Amendment is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications/.

The committee has decided that the contents of this document 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.

3.1.11 no-load operating state

Add, to the end of the existing Note 1 to entry, added by IEC 62751-2/AMD1:2019, the following sentence:

The integration time over which such losses are averaged might need to be longer than during normal operation, so as to obtain the correct weighted average of the losses while blocked and the losses while switching.

4.2 Principles for loss determination

Replace, in the last sentence of the existing first paragraph, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the word "justify" with "explain".

Replace, in the last sentence of the existing third paragraph, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the text "is now under study in CIGRÉ WG B4-75" with "has been studied by CIGRE WG B4-75 and is summarised in Annex C".

Delete the third sentence of the existing last paragraph, starting with "Care should also be taken".

4.4 Loss calculation method

Delete, in the third sentence of the existing first paragraph, the words "for example valve currents and switching energies".

Replace, in the last sentence of the existing second paragraph, the word "currents" with "losses".

Delete, in the existing last paragraph, the words "and justified".

Add, to the end of the existing last paragraph, the following new sentence:

The main benefit of the numerical offline simulation is the determination of the average distribution of the switching events across a cycle.

Add, after the existing last paragraph, the following new paragraph:

The remaining calculations can be performed analytically with a reasonable accuracy. If it can be shown by the manufacturer that the distribution of switching events is reasonably accurate, then the remaining calculations shall be allowed to be performed analytically.

4.5.2 Input data for numerical simulations

Replace, in the existing dashed list, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the first dashed item with the following new item:

The simulation model shall include a control block which reproduces the correct valve current and switching pattern used in the complete system.

Delete, in the fourth dash of the existing dashed list, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the words "parasitic elements".

Replace, in the fifth dash of the existing dashed list, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the text "with a reduced number of" with "using a lumped representation of the".

Delete the last two dashed items of the existing dashed list, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019.

Add, after the existing dashed list, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the following new paragraph and list:

There are two different approaches/methods which may be applied:

1) Two-stage simulation and calculation method on the basis of simulated input values

In this approach, the input parameters required for a calculation shall be simulated using a model which at least represents the on-state characteristics of the converter as well as the switching pattern or control pattern for the switching of the cells. The on-state representation may be chosen on the basis of worst-case characteristics (at high junction temperatures) or on-state characteristics for lower junction temperatures. The simulated values (voltages, currents and switching pattern) shall be used as input for the calculations. For the calculations with the simulated values, the following two approaches may be used.

- a) The semiconductor parameters are chosen for the rated or worst-case junction temperature condition and the losses shall be calculated on the basis of the rated junction temperature.

NOTE Due to the assumption of a worst-case temperature condition, this calculation will result in higher losses than what can actually be observed in the real application.

- b) Using a thermal model, the temperature-dependent semiconductor properties shall be considered to calculate the losses for all semiconductors in the converter. Since only steady-state scenarios are the basis for the loss calculation, the thermal heat capacitances may be considered as negligible for the thermal model. The temperature-dependent loss calculation may be executed in an iterative manner. For the iterative calculation approach with the simulation values input, a steady-state condition shall be reached to end the iteration process (as a suggestion ± 1 K iteration error border).

2) Loss calculation with an exclusive simulation approach

In this approach, the junction temperature dependent semiconductor properties, such as on-state voltages, and switching and recovery losses, shall be included in the simulation model (i.e. a thermal model shall be included in the simulations, as for the mixed calculation and simulation approach the thermal heat capacitances may be neglected for steady state conditions). The simulation model shall represent the switching pattern or control pattern for the switching of the cells. On the basis of the simulations, the losses shall be extracted directly from the simulation model for all semiconductors in the converter. Similarly to option 1), it is possible to simplify the model by using semiconductor parameters applicable only to the maximum rated junction temperature, but this will result in a more conservative calculation.

4.5.3 Input data coming from numerical simulations

Add, at the end of the existing second paragraph, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the following sentence:

The required parameters to be derived from the simulations may vary depending on the chosen calculation approach.

4.5.4 Converter station data

Add, in the second dash of the existing paragraph, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the words ", if any" after "filter configuration".

Add, in the third dash of the existing paragraph, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the words ", if any" after "phase reactor inductance".

4.6 Contents and structure of valve loss determination report

Replace, in the existing first paragraph of 4.6, added by IEC 62751-2/AMD1:2019, the words "have been determined and including" with the words "have been determined at the project execution stage, including".

5.1 General

Add, before the last paragraph, added by IEC 62751-2/AMD1:2019, the following new note:

NOTE When the rated DC current of the HVDC scheme is significantly lower than the rated current of the IGBT, additional measurement points might be necessary in order to obtain acceptable accuracy.

5.2 IGBT conduction losses

Add, at the beginning of the existing first paragraph, the text "Where the piecewise-linear approximation is used,".

Add, at the end of the existing last paragraph, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the following new sentence:

An analytical approach to calculate the current distribution for the individual submodule elements may be acceptable (e.g. use of switching vector derived from simulation).

Add, after the existing last paragraph, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the following new paragraph:

For parallel connected semiconductors, the current sharing may be calculated on the basis of the forward characteristics of the semiconductors (usually an equal current sharing).

5.3 Diode conduction losses

Add, at the beginning of the existing first paragraph, the text "Where the piecewise-linear approximation is used,".

Add, at the end of the existing last paragraph, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the following new sentence:

An analytical approach to calculate the current distribution for the individual submodule elements may be acceptable (e.g. use of switching vector derived from simulation).

Add, after the existing last paragraph, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the following new paragraph:

For parallel connected semiconductors the current sharing may be calculated on the basis of the forward characteristics of the semiconductors (usually an equal current sharing).

5.4 Other conduction losses

Add, before the last sentence of the existing first paragraph, modified by IEC 62751-2/AMD1:2019, the following new sentence:

The resistances of the busbars shall include not only the internal busbars within the MMC building blocks but also the busbars connecting between MMC building blocks and between the different stacks that make up the valve.

7 Losses in d.c. capacitors of the valve

Delete Note 2.

8.1 General

Replace, in the last sentence of the existing first paragraph, the words "control principles" with "switching regime".

8.2 IGBT switching losses

Add, after the existing last paragraph, the following new paragraph:

For parallel connected semiconductors, the current sharing may be calculated on the basis of the forward characteristics of the semiconductors (usually an equal current sharing).

8.3 Diode switching losses

Add, after the existing last paragraph, the following new paragraph:

For parallel connected semiconductors, the current sharing may be calculated on the basis of the forward characteristics of the semiconductors (usually an equal current sharing).

Annex B Recommended data to be supplied with the loss calculation report

Replace, in the first sentence of the existing first paragraph of Annex B, added by IEC 62751-2/AMD1:2019, the words "facilitate comparisons between reports from different bidders" with "explicitly provide the assumptions taken for the loss calculation study".

Replace, in the last sentence of the existing first paragraph of Annex B, added by IEC 62751-2/AMD1:2019, the words "at which losses are subject to financial evaluation" with "agreed between manufacturer and purchaser".

Table B.1 – Valve loss data

Add, after the sixth row (reading "13) rms current of IBGT T2 (I_{T2rms})" under column "Parameters") of Table B.1 of the existing Annex B, added by IEC 62751-2/AMD1:2019, the following new row:

105) average switching frequency	106)	107)	108)
----------------------------------	------	------	------

Replace, in footnote ^a of Table B.1 of the existing Annex B, added by IEC 62751-2/AMD1:2019, the word "bidder" with "manufacturer".

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62751-2:2014/AMD2:2023

Add, after the existing Annex B, added by IEC 62751-2/AMD1:2019, the following new annex:

Annex C **(informative)**

Loss measurement

As transmission losses are directly related to the investment and operational costs, they are one of the most important factors for high voltage direct current (HVDC) project evaluation. For voltage source converters (VSC), valve losses are the largest part of the total converter station losses and therefore the determination and evaluation of the VSC valve losses becomes highly important.

At the time of writing of this Annex C, the losses of VSC valves are determined based on the calculation methods of IEC 62751-1 and IEC 62751-2. The calculation method requires detailed information, such as the parameters of semiconductor devices, VSC valve design characteristics and operating modes, which are usually not directly available to the HVDC system purchaser or user, who consequently finds it difficult to evaluate the calculated losses results.

Therefore, CIGRÉ working group B4-75 was set up in 2017 to perform a feasibility study to assess laboratory loss measurement methods on VSC valves for loss calculation evaluation purposes and to make recommendations considering the pros and cons of such measurement methods versus the methods in IEC 62751. The results of this working group were published in 2021 as CIGRÉ TB 844.

The brochure starts with a general description of losses in VSC HVDC converter valves, the origins of different losses in components, the dependency of the losses on different operating modes, as well as special aspects of different designs. This is followed by a summary of the current practice for valve losses determination, including the modelling of the semiconductor parameters and then by a discussion on how the transparency of the overall calculation process can be enhanced. As the main study results of the WG B4-75, an evaluation of the existing methods to measure losses is provided. This is complemented by an overview of the operation conditions and additional aspects for losses measurement (such as commercial aspects) that need to be taken into account. In the last part, the results are summarized and recommendations for application of losses measurement are given, which can be used as guidance for the introduction of losses measurements in the operational type tests of VSC valves.

The conclusion of TB 844 is that the laboratory measurement of valve losses is feasible, although the level of accuracy achievable is still quite poor. The general recommendation therefore is that the laboratory measurement should become a standard part of the operational type tests of the VSC valves, such that in the coming years greater industry experience can be gained in this area. However, it is not recommended that the measured valve losses are used as part of the financial evaluation criteria for the HVDC project, until there is a good level of industry experience and consensus over what should be a realistically achievable level of measurement uncertainty.

Bibliography

Replace the existing reference "CIGRÉ WG B4-75, Feasibility study for assessment of lab losses measurement of VSC valves" with the following new reference:

CIGRÉ Technical Brochure 844, *Feasibility study for assessment of lab losses measurement of VSC valves*, WG B4-75

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62751-2:2014/AMD2:2023

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**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****AMENDEMENT 2****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 du présent document 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.

L'Amendement 2 de l'IEC 62751-2:2014 a été établi 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.

Le texte de cet Amendement est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
22F/712/CDV	22F/726/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cet Amendement est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications/.

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 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.

3.1.11

état de fonctionnement à vide

Ajouter la phrase suivante, à la fin de la Note 1 existante, ajoutée par l'IEC 62751-2/AMD1:2019:

Il pourrait être nécessaire que le temps d'intégration sur lequel de telles pertes sont moyennées soit plus long qu'en fonctionnement normal, afin d'obtenir la moyenne pondérée correcte des pertes, il faut considérer les pertes à l'état bloqué ainsi que les pertes à l'état débloqué.

4.2 Principe de détermination des pertes

Remplacer, dans la dernière phrase du premier alinéa existant, modifié par l'IEC 62751-2/AMD1:2019, le verbe "justifier" par "expliquer".

Remplacer l'expression "est à l'étude au sein du CIGRÉ WG B4-75" par "a été étudié par le CIGRÉ WG B4-75 et un résumé est donné à l'Annexe C" dans la dernière phrase du troisième alinéa existant, modifié par l'IEC 62751-2/AMD1:2019.

Supprimer la troisième phrase du dernier alinéa existant, qui commence par "Il convient également de veiller à".

4.4 Méthode de calcul des pertes

Supprimer, dans la troisième phrase du premier alinéa existant, les mots "(les courants de valve et les énergies de commutation, par exemple)".

Remplacer, dans la dernière phrase du deuxième alinéa existant, le mot "courants" par "pertes".

Supprimer les mots "et justifiées" dans le dernier alinéa existant.

Ajouter, à la fin du dernier alinéa existant, la nouvelle phrase suivante:

Le principal intérêt que présente la simulation numérique hors ligne est la détermination de la distribution moyenne des événements de commutation sur un cycle.

Ajouter le nouvel alinéa suivant après le dernier alinéa existant:

Les calculs restants peuvent être réalisés de manière analytique avec une exactitude raisonnable. Si le fabricant peut montrer que la distribution des événements de commutation est raisonnablement exacte, la réalisation des calculs restants de manière analytique doit être autorisée.

4.5.2 Données d'entrée pour les simulations numériques

Remplacer, dans l'énumération existante, modifiée par l'IEC 62751-2/AMD1:2019, le premier tiret par le nouveau tiret suivant:

Le modèle de simulation doit inclure un bloc de commande qui reproduit le courant de la valve et le motif de commutation corrects utilisés dans le système complet.

Supprimer, dans le quatrième tiret de l'énumération existante, modifiée par l'IEC 62751-2/AMD1:2019, les mots "éléments parasites".

Remplacer, dans le cinquième tiret de l'énumération existante, modifiée par l'IEC 62751-2/AMD1:2019, le texte "avec un nombre limité de" par "en utilisant une représentation agrégée des".

Supprimer les deux derniers tirets de l'énumération existante, modifiée par l'IEC 62751-2/AMD1:2019.

Ajouter le nouvel alinéa suivant après l'énumération existante, modifiée par l'IEC 62751-2/AMD1:2019:

Il existe deux approches/méthodes différentes qui peuvent être appliquées:

1) Méthode de simulation et de calcul fondée sur des valeurs d'entrée simulées

Dans cette approche, les paramètres d'entrée exigés pour un calcul doivent être simulés en utilisant un modèle qui représente au moins les caractéristiques de l'état passant du convertisseur ainsi que le motif de commutation ou le motif de la commande pour la commutation des cellules. La représentation à l'état passant peut être choisie à partir des caractéristiques les plus défavorables (à des températures de jonction élevées) ou des caractéristiques à l'état passant pour des températures de jonction plus basses. Les valeurs simulées (tensions, courants et motif de commutation) doivent être utilisées comme données d'entrée pour les calculs. Pour les calculs avec des valeurs simulées, les deux approches suivantes peuvent être utilisées.

- a) Les paramètres des semi-conducteurs sont choisis pour la condition de température de jonction assignée ou du cas le plus défavorable et les pertes doivent être calculées en se fondant sur la température de jonction assignée.

NOTE Il est à noter qu'en raison de l'hypothèse retenue, à savoir condition de température la plus défavorable, ce calcul donnera des pertes plus élevées que celles qui peuvent être effectivement observées dans l'application réelle.

- b) Lors de l'utilisation d'un modèle thermique, on doit tenir compte des propriétés des semi-conducteurs qui dépendent de la température pour calculer les pertes pour tous les semi-conducteurs dans le convertisseur. Dans la mesure où seuls les scénarios en régime permanent sont retenus pour le calcul des pertes, les capacités thermiques peuvent être considérées comme négligeables pour le modèle thermique. Le calcul des pertes qui dépendent de la température peut être effectué de manière itérative. Pour l'approche par calcul itératif avec les valeurs de simulation en entrée, une condition de régime permanent doit être atteinte pour mettre fin au processus d'itération (une limite d'erreur d'itération de ± 1 K est suggérée).

2) Calcul des pertes par une approche de simulation exclusive

Dans cette approche, les propriétés des semi-conducteurs qui dépendent de la température de jonction, telles que les tensions à l'état passant, les pertes de commutation et de recouvrement doivent être incluses dans le modèle de simulation (cela signifie qu'un modèle thermique doit être inclus dans les simulations, comme pour le calcul mixte et l'approche par simulation, les capacités thermiques peuvent être négligées pour les conditions de régime permanent). Le modèle de simulation doit représenter le motif de commutation ou le motif de commande pour la commutation des cellules. Les pertes doivent être extraites directement du modèle de simulation pour tous les semi-conducteurs dans le convertisseur sur la base des simulations. De la même manière que pour l'option 1), il est possible de simplifier le modèle en utilisant les paramètres des semi-conducteurs applicables seulement à la température de jonction assignée maximale, mais cela va donner un résultat plus conservateur.

4.5.3 Données d'entrée provenant des simulations numériques

Ajouter la phrase suivante, à la fin du deuxième alinéa existant, modifié par l'IEC 62751 2/AMD1:2019:

Les paramètres exigés à déduire des simulations peuvent varier en fonction de l'approche de calcul choisie.

4.5.4 Données du poste de conversion

Ajouter, dans le deuxième tiret de l'alinéa existant, modifié par l'IEC 62751-2/AMD1:2019, les mots "le cas échéant" après "configuration du filtre".

Ajouter, dans le troisième tiret de l'alinéa existant, modifié par l'IEC 62751-2/AMD1:2019, les mots "le cas échéant" après "inductance de phase".

4.6 Contenu et structure du rapport de détermination des pertes de la valve

Remplacer, dans le premier alinéa existant de 4.6, ajouté par l'IEC 62751-2/AMD1:2019, les mots "...ont été déterminées et qui comprend" par les mots "...ont été déterminées au stade d'exécution du projet, et qui comprend".

5.1 Généralités

Ajouter, avant le dernier alinéa, ajouté par l'IEC 62751-2/AMD1:2019, la nouvelle note suivante:

NOTE Des points de mesure supplémentaires pourraient être nécessaires pour obtenir une exactitude acceptable lorsque le courant assigné continu du système CCHT est très inférieur au courant assigné de l'IGBT."

5.2 Pertes de conduction de l'IGBT

Ajouter, au début du premier alinéa existant, le texte "Lorsqu'on utilise une approximation linéaire par morceau,".

Ajouter la nouvelle phrase suivante, à la fin du dernier alinéa existant, modifié par l'IEC 62751-2/AMD1:2019:

Une approche analytique peut être acceptable pour calculer la répartition du courant dans les éléments de sous-modules individuels (par exemple utilisation de vecteurs de commutation déduits de la simulation).

Ajouter le nouvel alinéa suivant après le dernier alinéa existant, modifié par l'IEC 62751-2/AMD1:2019:

Pour les semi-conducteurs connectés en parallèle le partage du courant peut être calculé à partir des caractéristiques directes des semi-conducteurs (généralement un partage égal de courant).

5.3 Pertes de conduction de la diode

Ajouter, au début du premier alinéa existant, le texte "Lorsqu'on utilise une approximation linéaire par morceau,".

Ajouter la nouvelle phrase suivante, à la fin du dernier alinéa existant, modifié par l'IEC 62751 2/AMD1:2019:

Une approche analytique peut être acceptable pour calculer la répartition du courant dans les éléments de sous-modules individuels (par exemple utilisation de vecteurs de commutation déduits de la simulation).

Ajouter le nouvel alinéa suivant après le dernier alinéa existant, modifié par l'IEC 62751 2/AMD1:2019:

Pour les semi-conducteurs connectés en parallèle, le partage du courant peut être calculé à partir des caractéristiques directes des semi-conducteurs (généralement un partage égal de courant).

5.4 Autres pertes de conduction

Ajouter la nouvelle phrase suivante avant la dernière phrase du premier alinéa existant, modifié par l'IEC 62751-2/AMD1:2019:

Les résistances des barres omnibus doivent non seulement inclure les barres omnibus internes dans les blocs modules MMC mais aussi les barres omnibus d'interconnexion entre les blocs modules MMC et entre les différents empilements qui constituent la valve.

7 Pertes dans les condensateurs c.c de la valve

Supprimer la Note 2.

8.1 Généralités

Remplacer l'expression "principes de commande" par "l'état de commutation" dans la dernière phrase du premier alinéa existant.

8.2 Pertes de commutation de l'IGBT

Ajouter le nouvel alinéa suivant après le dernier alinéa existant:

Pour les semi-conducteurs connectés en parallèle, le partage du courant peut être calculé à partir des caractéristiques directes des semi-conducteurs (généralement un partage égal du courant).

8.3 Pertes de commutation de la diode

Ajouter le nouvel alinéa suivant après le dernier alinéa existant:

Pour les semi-conducteurs connectés en parallèle le partage du courant peut être calculé à partir des caractéristiques directes des semi-conducteurs (généralement un partage égal du courant).

Annexe B Données recommandées à fournir dans le rapport de calcul des pertes

Remplacer, dans la première phrase du premier alinéa existant de l'Annexe B, ajouté par l'IEC 62751-2/AMD1:2019, les mots "afin de faciliter les comparaisons entre les rapports provenant de différents sous-traitants" par "qui donnent de manière explicite les hypothèses retenues pour l'étude du calcul des pertes".

Remplacer, dans la dernière phrase du premier alinéa existant de l'Annexe B, ajouté par l'IEC 62751-2/AMD1:2019, les mots "pour lequel les pertes sont soumises à des évaluations financières" par "ayant fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur".

Tableau B.1 – Données des pertes de la valve

Ajouter, après la sixième ligne (à savoir "13) courant efficace de l'IGBT T2 (I_{T2rms})" de la colonne "Paramètres") du Tableau B.1 de l'Annexe B existante, ajoutée par l'IEC 62751-2/AMD1:2019, la nouvelle ligne suivante:

105) fréquence de commutation moyenne	106)	107)	108)
---------------------------------------	------	------	------

Remplacer, dans la note de bas de tableau ^a du Tableau B.1 de l'Annexe B, ajoutée par l'IEC 62751-2/AMD1:2019, le mot "sous-traitant" par "fabricant".