

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



AMENDMENT 1 AMENDEMENT 1

**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 © 2019 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 Central Office
3, rue de Varembe
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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



AMENDMENT 1 AMENDEMENT 1

**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

ISBN 978-2-8322-7218-3

**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.**

FOREWORD

This amendment 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:

CDV	Report on voting
22F/479/CDV	22F/488B/RVC

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

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

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- withdrawn,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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

2 Normative references

Add the following new reference:

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

3.1.11

no-load operating state

Add, after the existing definition, the following new note:

Note 1 to entry: In the no-load state, in principle no switching should occur as the valve is blocked. However, in some designs, it may be necessary to make occasional switching operations to balance voltages between different parts of the converter. Here, some losses may occur and need to be accounted for.

4 General conditions

4.1 General

Replace, in the third sentence of the existing paragraph, the abbreviated term "CTL" by "CTL".

4.2 Principles for loss determination

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

The manufacturer shall justify, in the loss calculation report, how the uncertainties have been considered.

Replace the last two sentences of the third existing paragraph by the following new sentences:

In practice, this measurement would require the use of state-of-the-art measurement equipment that rivals the best equipment available at national metrology institutes. To date, although some industry/academic partnership projects have demonstrated prototypes of measurement equipment claiming sufficient accuracy, there is little industry experience with using such equipment on site. The feasibility of using laboratory measurements on VSC valves to support a more accurate determination of valve losses is now under study in CIGRÉ WG B4-75.

4.4 Loss calculation method

Replace the first sentence of the existing second paragraph by the following new sentence:

An important requirement for such simulations is an accurate modelling of the system under investigation.

4.5.2 Input data for numerical simulations

Replace the last item of the existing dash list by the following new items:

- For calculating converter valve currents and MMC building block capacitor currents, which are the basis for the calculation of corresponding losses, it is sufficient to use a simplified model in which the on-state and switching characteristics of the IGBTs and diodes are represented by worst-case characteristics applicable to their maximum rated junction temperature.
- For the detailed calculation of losses, the simulation shall also consider the junction temperature dependent semiconductor properties, such as on-state voltages, switching and recovery losses. These properties are based on the characterisation testing as described in IEC 62751-1:2014, 4.4.2. The steady-state junction temperatures of the semiconductors are calculated iteratively for the relevant operating point to derive the semiconductor losses.

4.5.3 Input data coming from numerical simulations

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

The mean and rms currents in IGBTs and diodes are not required if conduction losses in IGBTs and diodes are calculated using polynomials as discussed in 5.1.

4.5.4 Converter station data

Add, to the sixth dash of the existing list, the words "(for CTL designs)".

Add, after the existing 4.5.5, the following new subclause:

4.6 Contents and structure of valve loss determination report

The manufacturer or bidder shall prepare and submit to the purchaser a detailed report explaining how the losses in the VSC valves have been determined and including a breakdown of the valve losses into the constituent parts P_{V1} to P_{V9} for each operating condition at which losses are required to be guaranteed.

At the bid stage, and (where requested in the contract) after contract award but before the manufacturing of valve components, the report shall document the assumptions used in arriving at the calculated value of losses. After manufacturing, the report shall document the actual values of test data derived from characterisation tests and routine tests on components.

Although a breakdown of the valve losses into the constituent parts P_{V1} to P_{V9} is requested, only the total valve losses P_{Vt} shall be subject to financial evaluation.

A recommended list of data to be included in the report is presented in Annex B.

5.1 General

Add, after the existing Figure 2, the following new paragraphs:

To simplify the process of mathematically analysing conduction losses, the on-state voltage of IGBTs and diodes is usually represented as a piecewise-linear approximation with a threshold voltage V_0 and a slope resistance R_0 , as shown in Figure 2 of IEC 62751-1:2014.

It is possible to obtain greater accuracy by using a more exact model of the device on-state voltage (for example, using a polynomial function to represent the on-state voltage) rather than the piecewise-linear approximation, and then performing a direct numerical integration. However, the piecewise-linear approximation is preferred because it simplifies the calculation process, allows greater transparency and still permits good accuracy to be obtained, provided the measurements used to derive the piecewise-linear approximation are made at appropriate values of current. Therefore, it is recommended that V_0 and R_0 are determined by measuring on-state voltage at 100 % and 33 % of the device rated current and performing a linear extrapolation.

In the event that the purchaser prefers to use the more accurate method using a polynomial function, then this shall be clearly stated in the purchasing specification, and all bidders are expected to calculate power losses in a comparable way.

5.2 IGBT conduction loss

Replace the existing second paragraph, starting with "By means of..." and including Equations (2) to (5) and their key, as well as the existing third paragraph, by the following new text:

By means of numerical simulation, the currents shall be calculated for the IGBTs T1 and T2 for each MMC building block, respectively:

$$I_{T1av} = \frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{T1}(t) \cdot dt \quad (2)$$

$$I_{T2av} = \frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{T2}(t) \cdot dt \quad (3)$$

$$I_{T1rms} = \sqrt{\frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{T1}(t)^2 \cdot dt} \quad (4)$$

$$I_{T2rms} = \sqrt{\frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{T2}(t)^2 \cdot dt} \quad (5)$$

where

t_i is the integration time used in the simulation;

t_i shall not be less than 1 s.

If different IGBT types are used for T1 and T2, corresponding values for threshold voltages and slope resistances shall be used accordingly.

5.3 Diode conduction losses

Replace the existing second paragraph, starting with "By means of...", including Equations (7) to (10), the key to these equations and the note, by the following new text:

By means of numerical simulation, the currents shall be calculated for the diodes D1 and D2 for each MMC building block, respectively:

$$I_{D1av} = \frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{D1}(t) \cdot dt \quad (7)$$

$$I_{D2av} = \frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{D2}(t) \cdot dt \quad (8)$$

$$I_{D1rms} = \sqrt{\frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{D1}(t)^2 \cdot dt} \quad (9)$$

$$I_{D2rms} = \sqrt{\frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{D2}(t)^2 \cdot dt} \quad (10)$$

where

t_i is the integration time used in the simulation;

t_i shall not be less than 1 s.

If different diode types are used for D1 and D2, corresponding values for threshold voltages and slope resistances shall be used accordingly.

5.4 Other conduction losses

Replace the second sentence of the first existing paragraph by the following new sentences:

For modular multi-level converters, this mainly consists of interconnecting busbars. Losses in valve reactors shall be considered separately from valve losses and calculated using the principles defined for AC filter reactors in IEC 61803.

9.1 Snubber circuit losses

Replace the existing note by the following new paragraph:

Including a snubber parallel to a VSC valve level influences the turn-on/turn-off behaviour of the IGBT/diode, which means that the snubber circuits shall be correctly represented during the characterisation tests on the semiconductor devices.

9.2.1 General

Replace the first existing sentence of the fourth paragraph by the following new sentences:

The power consumption of each valve electronics unit should be determined by direct measurement on a sample of real valve electronics units under representative switching conditions (voltage, current, switching frequency etc). Tests shall be performed on a minimum quantity of valve electronics units equivalent to five submodules or 10 VSC valve levels (for the CTL design).

Annex A – Description of power loss mechanisms in MMC valves

Figure A.2 – Phase unit of the cascaded two-level converter (CTL) in half-bridge form

Replace "VSC valve leve" by "VSC valve level"

Figure A.3 – Basic operation of the MMC converters

Replace the three occurrences of " I_L " by " I_C ", where I_C is an AC phase current on the converter side of the transformer.

Figure A.4 – MMC converters showing composition of valve current

Replace the four occurrences of " I_L " by " I_C ".

Figure A.6 – Effect of 3rd harmonic injection on converter voltage and current

Replace the two occurrences of " I_L " by " I_C ".

Figure A.9 – Typical patterns of conduction for inverter operation (left) and rectifier operation (right)

Replace the existing title of Figure A.9 by the following new title:

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)

Figure A.10 – Example of converter with only one MMC building block per valve to illustrate switching behaviour

Replace " I_L " by " I_C ".

A.3.2.1 Approximate analytical solution

Equation (A.3)

Replace " i_v " by " i_{vt} ".

Add, immediately after the existing Equation (A.3), the following new text:

where

$i_{vtt}(\omega t)$ is the instantaneous current between the terminals of the valve.

Equation (A.4)

Replace " i_v " by " i_{vtt} ".

Figure A.13 – Valve current and mean rectified valve current

Replace the existing Figure A.13 by the following new figure:

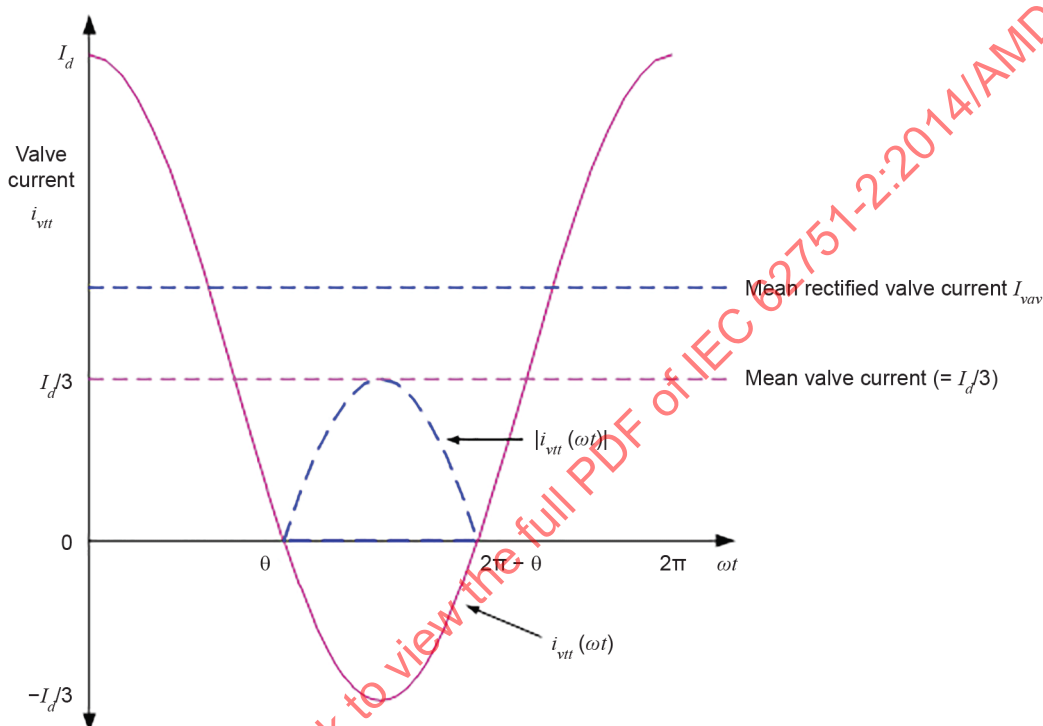


Figure A.13 – Valve current and mean rectified valve current

Equations (A.5)

Replace " I_L " by " I_C ".

Equations (A.6)

Replace " I_L " by " I_C ".

Equations (A.7)

Replace " I_L " by " I_C ".

Equations (A.8)

Replace " I_L " by " I_C ".

A.3.2.2 Exact analytical solution

Replace, in the existing title of this subclause, the word "Exact" by "Improved".

Equation (A.11)

Replace " u_v " by " u_{vtt} ".

Replace, in the key to Equation (A.11), the existing symbol " $u_v(\omega t)$ ", including its definition, by the following new symbol and definition:

$u_{vtt}(\omega t)$ is the valve terminal-to-terminal voltage as a function of time;

Equation (A.12)

Replace " i_v " by " i_{vtt} ".

Equation (A.13)

Replace " i_v " by " i_{vtt} ".

Equation (A.14)

Replace " i_v " by " i_{vtt} ".

Equation (A.15)

Replace " i_v " by " i_{vtt} ".

Add, after the last paragraph of A.3.2.2, the following new paragraphs and new equation:

A further improvement to the analytical calculation of semiconductor conduction losses can be made by using a more sophisticated approximation for the device on-state voltage instead of the piecewise-linear model using V_0 and R_0 . For example:

$$V_{ce(sat)}, V_{ce} = A + B \cdot I + C \cdot \ln(I + 1) + D \cdot \sqrt{I} \quad (\text{A.1})$$

However, this improved model comes at the price of increased simulation complexity and reduced transparency and should only be used when specifically agreed by the purchaser.

A.3.3 MMC building block d.c. capacitor losses

Add a colon to the end of the first paragraph.

A.4.2 Analysis of state changes during cycle

Replace, in the first sentence of the second paragraph, the words "is very complex" by "can, depending on the modulation strategy chosen, be complex".

A.5.2.2 DC voltage-dependent losses with MMC building block – Analytical method

Replace, in the existing title of the subclause, the words "with MMC building block" by "in MMC building block".

Replace, in items a) and b) of the last paragraph, the words "total losses" by "total d.c. voltage-dependent losses", and the words "single MMC building block loss" by "single MMC building block d.c. voltage-dependant loss".

A.5.2.3 DC voltage-dependent losses with valve – Analytical method

Replace, in the existing title, the words "with valve" by "across complete valve".

A.5.3.2.2 Type A

Replace the two occurrences of "power circuit" by "power supply circuit".

A.5.3.2.3 Type B

Replace the three occurrences of "power circuit" by "power supply circuit".

A.6.2 Two-level full-bridge MMC building block

Add, in the first sentence of the penultimate paragraph, the word "(over-modulation)" after "d.c. pole-to-pole voltage".

Replace, in the penultimate paragraph, the last existing sentence by the following new sentence:

When such over-modulation is used, overall conduction losses of the full-bridge converter are therefore somewhat less than twice those of a half-bridge converter.

A.6.3 Multi-level MMC building blocks

Delete, in the first sentence of the first existing paragraph, the words "and used in the traditional "two-level" converter,".

Add, after the existing Annex A, the following new annex:

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62751-2:2014/AMD1:2019

Annex B (informative)

Recommended data to be supplied with the loss calculation report

The data showed in Tables B.1 and B.2 is recommended to be included in the loss calculation report in order to facilitate comparisons between reports from different bidders. The format of data is based on the assumption of a half-bridge MMC; in the event that a different topology is used, the content should be adapted accordingly. Data should be provided for each operating point at which losses are subject to financial evaluation.

Table B.1 – Valve loss data

Losses categories	Loss power kW	Parameters	Value
1) IGBT conduction losses (P_{V1}) ^a	2)	3) IGBT threshold voltage (V_{0T})	4)
		5) IGBT slope resistance (R_{0T})	6)
		7) mean current of IGBT T1 (I_{T1av})	8)
		9) rms current of IGBT T1 (I_{T1rms})	10)
		11) mean current of IGBT T2 (I_{T2av})	12)
		13) rms current of IGBT T2 (I_{T2rms})	14)
15) diode conduction losses (P_{V2}) ^a	16)	17) diode threshold voltage (V_{0D})	18)
		19) diode slope resistance (R_{0D})	20)
		21) mean current of diode D1 (I_{D1av})	22)
		23) rms current of diode D1 (I_{D1rms})	24)
		25) mean current of diode D2 (I_{D2av})	26)
		27) rms current of diode D2 (I_{D2rms})	28)
29) other valve conduction losses (P_{V3})	30)	31) rms current flowing in each series resistive element ($I_{rms\ k}$)	32)
		33) total resistance of each series resistive elements ($R_{s\ k}$)	34)
35) d.c. voltage-dependent losses (P_{V4})	36)	37) rms value (including d.c. component) of the voltage across each parallel resistive component (U_{rms})	38)
		39) resistance of each parallel resistive component (R_{dc})	40)
41) d.c. capacitor losses (P_{V5})	42)	43) rms current flowing in the d.c. capacitor (I_{crms})	44)
		45) average equivalent series resistance of the d.c. capacitor (R_{ESR})	46)
47) IGBT switching losses (P_{V6})	48)	49) average turn-on energy of T1 ($E_{on,T1}$) 50) at current= 51) and temperature=	52)
			53)
			54)
		55) average turn-on energy of T2 ($E_{on,T2}$) 56) at current= 57) and temperature=	58)
			59)
			60)
		61) average turn-off energy of T1 ($E_{off,T1}$)	64)
			65)

Losses categories	Loss power kW	Parameters	Value
		62) at current= 63) and temperature=	66)
		67) average turn-off energy of T2 ($E_{\text{off},T2}$)	70)
		68) at current=	71)
		69) and temperature=	72)
73) diode turn-off losses (P_{V7})	74)	75) average diode recovery energy of D1 ($E_{\text{rec},D1}$)	78)
		76) at current=	79)
		77) and temperature=	80)
		81) average diode recovery energy of D2 ($E_{\text{rec},D2}$)	84)
		82) at current=	85)
		83) and temperature=	86)
87) snubber losses (P_{V8}) (if any)	88)	89) average energy dissipated in the snubber resistor for turn-on ($E_{\text{sn,on}}$)	91)
		90) at current=	92)
		93) average energy dissipated in the snubber resistor for turn-off ($E_{\text{sn,off}}$)	95)
		94) at current=	96)
97) valve electronics power consumption (P_{V9})	98)	99)	100)
101) total valve losses (P_{Vt})	102)	103)	104)
^a If the on-state voltage of IGBTs and diodes is represented by polynomial functions of other more accurate representations, the threshold voltage and slope resistance data and I_{av} and I_{rms} data are not required. However, the bidder should provide full details of the polynomial function used, including its coefficients.			

Table B.2 – Other data

Devices		Junction temperature °C
1)	T1	2)
3)	T2	4)
5)	D1	6)
7)	D2	8)

Bibliography

Delete reference to IEC 61803.

Add the following new reference:

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

AVANT-PROPOS

Le présent amendement 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:

CDV	Rapport de vote
22F/479/CDV	22F/488B/RVC

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

Le comité a décidé que le contenu de cet amendement et de la publication de base ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

2 Références normatives

Ajouter la nouvelle référence suivante:

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

3.1.11

état de fonctionnement à vide

Ajouter, après la définition existante, la nouvelle note suivante:

Note 1 à l'article: En principe, à l'état à vide, il convient qu'aucune commutation ne se produise, la valve étant bloquée. Toutefois, dans certaines conceptions, il peut s'avérer nécessaire de réaliser des opérations occasionnelles de commutation afin d'équilibrer les tensions entre les différentes parties du convertisseur. Dans le cas présent, certaines pertes peuvent se produire et il est nécessaire de les prendre en considération.

4 Conditions générales

4.1 Généralités

Remplacer, dans la troisième phrase de l'alinéa existant, le terme abrégé "CTLC" par "CTL".

4.2 Principe de détermination des pertes

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

Le fabricant doit justifier, dans le rapport de calcul des pertes, la façon dont les incertitudes ont été prises en considération.

Remplacer les deux dernières phrases du troisième alinéa existant par les nouvelles phrases suivantes:

Dans la pratique, ce mesurage exige d'utiliser un équipement de mesure conforme à l'état de l'art, rivalisant avec les meilleurs équipements disponibles des instituts de métrologie nationaux. À ce jour, bien que certains projets de partenariat industrie/université aient fait la démonstration de prototypes d'équipements de mesure d'une exactitude satisfaisante, l'expérience de l'industrie dans l'utilisation de tels équipements sur site reste faible. La possibilité d'utiliser des mesures de laboratoire sur des valves à VSC pour permettre une détermination plus précise des pertes de la valve est à l'étude au sein du CIGRÉ WG B4-75.

4.4 Méthode de calcul des pertes

Remplacer la première phrase du deuxième alinéa existant par la nouvelle phrase suivante:

La modélisation exacte du système à l'étude est une exigence importante pour ce type de simulation.

4.5.2 Données d'entrée pour les simulations numériques

Remplacer le dernier élément de la liste existante par les nouveaux éléments suivants:

- Pour calculer les courants de la valve du convertisseur et les courants du condensateur de bloc module MMC, qui sont la base du calcul des pertes correspondantes, l'utilisation d'un modèle simplifié dans lequel les caractéristiques d'état et de commutation des IGBT et des diodes sont représentées par les caractéristiques les plus défavorables applicables à leur température de jonction maximale assignée est suffisante.
- Pour le calcul détaillé des pertes, la simulation doit également tenir compte des propriétés des semi-conducteurs dépendant de la température de jonction (les tensions à l'état passant, les pertes de commutation et de rétablissement, par exemple). Ces propriétés reposent sur les essais de caractérisation tels que décrits dans l'IEC 62751-1:2014, 4.4.2. Les températures de jonction en régime permanent des semi-conducteurs sont calculées de manière itérative pour le point de fonctionnement correspondant afin de déduire les pertes de semi-conducteur.

4.5.3 Données d'entrée provenant des simulations numériques

Ajouter, au dernier alinéa existant, la nouvelle phrase suivante:

Les courants moyen et efficace des IGBT et des diodes ne sont pas exigés si les pertes de conduction des IGBT et des diodes sont calculées en utilisant des polynômes, comme indiqué en 5.1.

4.5.4 Données du poste de conversion

Ajouter, au sixième tiret de la liste existante, les mots "(pour les conceptions CTL)".

Ajouter, après le 4.5.5 existant, le nouveau paragraphe suivant:

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

Le fabricant ou le sous-traitant doit préparer et remettre au client un rapport détaillé qui explique la façon dont les pertes dans les valves à VSC ont été déterminées et qui comprend une répartition des pertes de la valve dans les parties qui composent P_{V1} à P_{V9} pour chaque condition de fonctionnement pour laquelle les pertes doivent être garanties.

Lors de l'appel d'offres, et (si cela est demandé dans le contrat) après l'attribution du contrat mais avant la fabrication des composants de la valve, le rapport doit donner des informations sur les hypothèses de calcul des pertes. Après la fabrication, le rapport doit détailler les valeurs réelles des données d'essai déduites des essais de caractérisation et des essais individuels de série des composants.

Bien qu'une répartition des pertes de la valve dans les parties qui composent P_{V1} à P_{V9} soit demandée, seules les pertes totales de la valve P_{VT} doivent être soumises à une évaluation financière.

Une liste des données recommandées à inclure dans le rapport est présentée à l'Annexe B.

5.1 Généralités

Ajouter, après la Figure 2 existante, les nouveaux alinéas suivants:

Afin de simplifier l'analyse mathématique des pertes de conduction, la tension à l'état passant des IGBT et des diodes est généralement représentée par une approximation linéaire avec une tension de seuil V_0 et une résistance apparente R_0 , qui est donné à la Figure 2 de l'IEC 62751-1:2014.

Une plus grande exactitude peut être obtenue en utilisant un modèle plus précis de la tension à l'état passant du dispositif (par exemple, en utilisant une fonction polynomiale pour représenter la tension à l'état passant) plutôt qu'une approximation linéaire, puis en effectuant une intégration numérique directe. Toutefois, l'approximation linéaire constitue la méthode préférentielle puisqu'elle simplifie le calcul, apporte une plus grande transparence et permet néanmoins un bon niveau d'exactitude, à condition que les mesurages utilisés pour la calculer soient effectués à des valeurs de courant appropriées. Il est donc recommandé que V_0 et R_0 soient déterminés par le mesurage de la tension à l'état passant à 100 % et 33 % du courant assigné du dispositif et par la réalisation d'une extrapolation linéaire.

Dans le cas où le client préfère utiliser la méthode la plus exacte utilisant une fonction polynomiale, cela doit être clairement inscrit dans le cahier des charges, et il est attendu que tous les sous-traitants calculent les pertes de puissance de façon comparable.

5.2 Pertes de conduction de l'IGBT

Remplacer le deuxième alinéa existant, commençant par "Les courants sont à calculer..." et comprenant les Equations (2) à (5) et leur légende, ainsi que le troisième alinéa existant, par le nouveau texte suivant:

Les courants doivent être calculés pour les IGBT T1 et T2 au moyen d'une simulation numérique, pour chaque bloc module MMC, respectivement:

$$I_{T1av} = \frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{T1}(t) \cdot dt \quad (2)$$

$$I_{T2av} = \frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{T2}(t) \cdot dt \quad (3)$$

$$I_{T1rms} = \sqrt{\frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{T1}(t)^2 \cdot dt} \quad (4)$$

$$I_{T2rms} = \sqrt{\frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{T2}(t)^2 \cdot dt} \quad (5)$$

où

t_i est le temps d'intégration utilisé pour la simulation;

t_i ne doit pas être inférieur à 1 s.

Si différents types d'IGBT sont utilisés pour T1 et T2, les valeurs de tension de seuil et de résistance apparente correspondantes doivent être utilisées en conséquence.

5.3 Pertes de conduction de la diode

Remplacer le deuxième alinéa existant, commençant par "Les courants sont à calculer..." et comprenant les Equations (7) à (10) et leur légende, ainsi que la note, par le nouveau texte suivant :

Les courants doivent être calculés pour les diodes D1 et D2 au moyen d'une simulation numérique, pour chaque bloc module MMC, respectivement:

$$I_{D1av} = \frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{D1}(t) \cdot dt \quad (7)$$

$$I_{D2av} = \frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{D2}(t) \cdot dt \quad (8)$$

$$I_{D1rms} = \sqrt{\frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{D1}(t)^2 \cdot dt} \quad (9)$$

$$I_{D2rms} = \sqrt{\frac{1}{t_i} \cdot \int_0^{t_i} i_{D2}(t)^2 \cdot dt} \quad (10)$$

où

t_i est le temps d'intégration utilisé pour la simulation;

t_i ne doit pas être inférieur à 1 s.

Si différents types de diodes sont utilisés pour D1 et D2, les valeurs de tension de seuil et de résistance apparente correspondantes doivent être utilisées en conséquence.

5.4 Autres pertes de conduction

Remplacer la deuxième phrase du premier alinéa existant par les nouvelles phrases suivantes:

Pour les convertisseurs multiniveaux modulaires, il s'agit essentiellement des barres omnibus d'interconnexion. Les pertes des inductances de valve doivent être prises en considération séparément des pertes de la valve et doivent être calculées selon les principes définis pour les inductances de filtrage à courant alternatif de l'IEC 61803.

9.1 Pertes du circuit d'amortissement

Remplacer la note existante par le nouvel alinéa suivant:

L'intégration d'un circuit d'amortissement parallèle à un niveau de valve à VSC a un impact sur le comportement d'activation/de désactivation de l'IGBT ou de la diode, ce qui signifie que les circuits d'amortissement doivent être correctement représentés lors des essais de caractérisation réalisés sur les dispositifs à semi-conducteur.

9.2.1 Généralités

Remplacer la première phrase existante du quatrième alinéa par les nouvelles phrases suivantes:

Il convient de déterminer la consommation de puissance de chaque unité d'électronique de valve en procédant à des mesurages directs réalisés sur un échantillon d'unités d'électronique de valve réelle, dans des conditions de commutation représentatives (tension, courant, fréquence de commutation, etc.). Les essais doivent être réalisés sur un nombre minimal d'unités d'électronique de valve équivalent à cinq sous-modules ou à 10 niveaux de valve à VSC (pour la conception CTL).

Annexe A – Description des mécanismes de perte de puissance dans les valves à MMC

Figure A.2 – Unité de phase du convertisseur à deux niveaux monté en cascade (CTL) en demi-pont

Remplacer "VSC valve leve" par "VSC valve level".

Figure A.3 – Fonctionnement de base des convertisseurs MMC

Remplacer les trois occurrences de " I_L " par " I_C ", où I_C est un courant de phase alternatif du côté convertisseur du transformateur.

Figure A.4 – Convertisseurs MMC montrant la composition du courant de valve

Remplacer les quatre occurrences de " I_L " par " I_C ".

Figure A.6 – Effet de l'injection du 3^e harmonique sur la tension et le courant du convertisseur

Remplacer les deux occurrences de " I_L " par " I_C ".

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)

Remplacer le titre existant de la Figure A.9 par le nouveau titre suivant:

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)

Figure A.10 – Exemple de convertisseur doté d'un seul bloc module MMC par valve afin d'illustrer le comportement de commutation

Remplacer " I_L " par " I_C ".

A.3.2.1 Solution analytique d'approximation

Equation (A.3)

Remplacer " i_v " par " i_{vtt} ".

Ajouter, immédiatement après l'Equation (A.3) existante, le nouveau texte suivant:

où

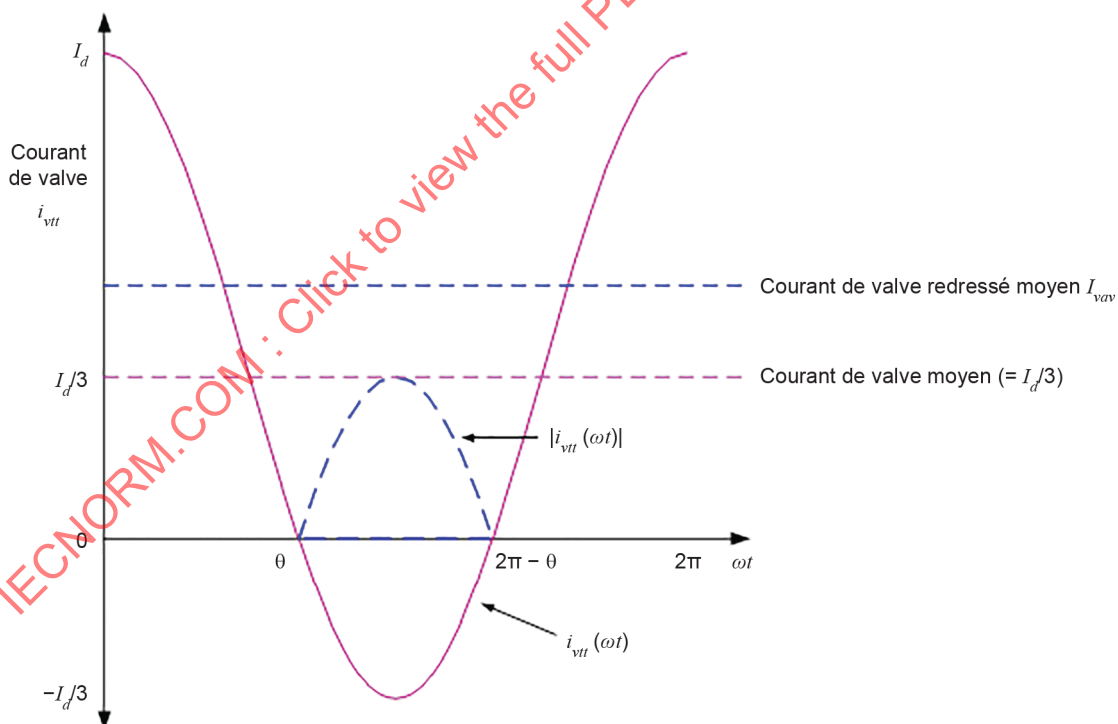
$i_{vtt}(\omega t)$ est le courant instantané entre les bornes de la valve.

Equation (A.4)

Remplacer " i_v " par " i_{vtt} ".

Figure A.13 – Courant de valve et courant de valve redressé moyen

Remplacer la Figure A.13 existante par la nouvelle figure suivante:



IEC

Figure 13 – Courant de valve et courant de valve redressé moyen

Equation (A.5)

Remplacer " i_v " par " i_{vtt} " et " I_L " by " I_C ".

Equations (A.6)

Remplacer " I_L " par " I_C ".

Equations (A.7)

Remplacer " I_L " par " I_C ".

Equations (A.8)

Remplacer " I_L " par " I_C ".

A.3.2.2 Solution analytique exacte

Remplacer, dans le titre existant de ce paragraphe, le mot "exacte" par "améliorée".

Equation (A.11)

Remplacer " u_v " par " u_{vtt} ".

Remplacer, dans la légende de l'Equation (A.11), le symbole existant " $u_v(\omega t)$ ", y compris sa définition, par le nouveau symbole et la nouvelle définition suivants:

$u_{vtt}(\omega t)$ est la tension de valve borne à borne en fonction du temps;

Equations (A.12)

Remplacer " i_v " par " i_{vtt} ".

Equation (A.13)

Remplacer " i_v " par " i_{vtt} ".

Equation (A.14)

Remplacer " i_v " par " i_{vtt} ".

Equation (A.15)

Remplacer " i_v " par " i_{vtt} ".

Ajouter, après le dernier alinéa de A.3.2.2, les nouveaux alinéas et équation suivants:

Une amélioration supplémentaire du calcul analytique des pertes de conduction du semi-conducteur peut être obtenue en utilisant une approximation plus complexe de la tension à l'état passant du dispositif plutôt que le modèle linéaire utilisant V_0 et R_0 . Par exemple:

$$V_{ce(sat)}, V_f = A + B \cdot I + C \cdot \ln(I + 1) + D \cdot \sqrt{I} \quad (A.1)$$

Cependant, l'amélioration de ce modèle implique un accroissement de la complexité de la simulation et une réduction de la transparence. Il convient que ce modèle soit utilisé uniquement s'il est spécifiquement approuvé par le client.

A.3.3 Pertes du condensateur c.c. du bloc module MMC

Ajouter deux points à la fin du premier alinéa.