

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



### AMENDMENT 1 AMENDEMENT 1

**Voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) power transmission – Electrical testing**

**Valves à convertisseur de source de tension (VSC) pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Essais électriques**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 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  
Fax: +41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://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 corrigenda or an amendment might have been published.

#### IEC Catalogue - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

#### IEC publications search - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

#### IEC Glossary - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

More than 55 000 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.

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://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: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

### 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.

#### Catalogue IEC - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

#### Recherche de publications IEC - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

#### Glossaire IEC - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

Plus de 55 000 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.

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



### AMENDMENT 1 AMENDEMENT 1

**Voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC)  
power transmission – Electrical testing**

**Valves à convertisseur de source de tension (VSC) pour le transport d'énergie  
en courant continu à haute tension (CCHT) – Essais électriques**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

S

ICS 29.200; 29.240

ISBN 978-2-8891-0744-5

**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/299/CDV | 22F/316A/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 web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

## CONTENTS

### 3.3 Operating states

*Replace the subclause title as follows:*

#### 3.3 Operating states of converter

#### 4.1.3 Sequence of test

*Delete the subclause title.*

*Add the titles of new Subclause 4.1.8 and new Clause 15 as follows:*

#### 4.1.8 Conditions to be considered in determination of type test parameters

#### 15 Tests for dynamic braking valves

### Annex A (informative) Overview of VSC topology

*Replace the annex title as follows:*

Annex A (informative) Overview of VSC converters in HVDC power transmission

*Add the titles of new Subclauses A.5.1 to A.5.4 and new Clause A.7 as follows:*

A.5.1 General

A.5.2 Modular multi-level converter (MMC)

A.5.3 Cascaded two level converter (CTL)

A.5.4 Terminology for valves of the controllable voltage source type

A.7 Hybrid VSC valves

Annex B (informative) Fault tolerance capability

*Replace the annex title as follows:*

Annex B (informative) Valve component fault tolerance

Figure A.9 – One possible implementation of a multi-level “voltage source” VSC valve

*Replace the figure title as follows:*

Figure A.9 - The half-bridge MMC circuit

*Add, in the list of figures, the titles of new Figures A.10 to A.13 as follows:*

Figure A.10 – The full-bridge MMC circuit

Figure A.11 – The half-bridge CTL circuit

Figure A.12 – Construction terms in MMC valves

Figure A.13 – Construction terms in CTL valves

## **1 Scope**

*Add, after the first paragraph, the following two paragraphs:*

The scope of this standard includes the electrical type and production tests of dynamic braking valves which may be used in some HVDC schemes for d.c. overvoltage limitation.

This standard can be used as a guide for testing of STATCOM valves.

*Add, at the end of the last sentence of the last paragraph, the words “between the purchaser and the supplier” so that the last sentence reads as follows:*

For other types of valves, the test requirements and acceptance criteria should be agreed between the purchaser and the supplier.

## **2 Normative references**

*Delete from the existing list, the following references:*

IEC 60060-1:1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60071-1:2006, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

Add to the list, the following references:

IEC 60071 (all parts), *Insulation co-ordination*

IEC 60270:2000, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

## 3.2 Power semiconductor terms

Replace the existing introductory text, terms and definitions by the following new terms and definitions:

### 3.2.1

#### **turn-off semiconductor device**

controllable semiconductor device which may be turned on and off by a control signal, for example an IGBT

NOTE There are several types of turn-off semiconductor devices which can be used in VSC converters for HVDC. For convenience, the term IGBT is used throughout this standard to refer to the main turn-off semiconductor device. However, the standard is equally applicable to other types of turn-off semiconductor devices.

### 3.2.2

#### **insulated gate bipolar transistor**

##### **IGBT**

turn-off semiconductor device with three terminals: a gate terminal (G) and two load terminals emitter (E) and collector (C)

NOTE By applying appropriate gate to emitter voltages, the load current can be controlled, i.e. turned on and turned off.

### 3.2.3

#### **free-wheeling diode**

##### **FWD**

power semiconductor device with diode characteristic

NOTE 1 A FWD has two terminals: an anode (A) and a cathode (K). The current through FWDs is in the opposite direction to the IGBT current.

NOTE 2 FWDs are characterized by the capability to cope with high rates of decrease of current caused by the switching behaviour of the IGBT.

### 3.2.4

#### **IGBT-diode pair**

arrangement of IGBT and FWD connected in inverse parallel

## 3.3 Operating states

Replace the existing title, terms and definitions by the following new title, terms and definitions.

## 3.3 Operating states of converter

### 3.3.1

#### **blocking state**

condition of the converter, in which a turn-off signal is applied continuously to all IGBTs of the converter

NOTE Typically, the converter is in the blocking state condition after energization.

### 3.3.2

#### **de-blocked state**

condition of the converter, in which turn-on and turn-off signals are applied repetitively to IGBTs of the converter

### 3.3.3

#### **valve protective blocking**

means of protecting the valve or converter from excessive electrical stress by the emergency turn-off of all IGBTs in one or more valves

### 3.3.4

#### **voltage step level**

voltage step caused by switching of a valve or part of a valve during the de-blocked state of the converter

NOTE For valves of the controllable voltage source type, the voltage step level corresponds to the change of voltage caused by switching one submodule or cell. For valves of the switch type, the voltage step level corresponds to the change of voltage caused by switching the complete valve.

## 3.4 VSC construction terms

*Replace the existing terms and definitions by the following new terms and definitions:*

### 3.4.1

#### **VSC phase unit**

equipment used to connect the two d.c. busbars to one a.c. terminal

### 3.4.2

#### **switch type VSC valve**

arrangement of IGBT-diode pairs connected in series and arranged to be switched simultaneously as a single function unit

### 3.4.3

#### **controllable voltage source type VSC valve**

complete controllable voltage source assembly, which is generally connected between one a.c. terminal and one d.c. terminal

### 3.4.4

#### **diode valve**

semiconductor valve containing only diodes as the main semiconductor devices, which might be used in some VSC topologies

### 3.4.5

#### **dynamic braking valve**

complete controllable device assembly, which is used to control energy absorption in braking resistor

### 3.4.6

#### **valve**

VSC valve, dynamic braking valve or diode valve according to the context

### 3.4.7

#### **submodule**

part of a VSC valve comprising controllable switches and diodes connected to a half bridge or full bridge arrangement, together with their immediate auxiliaries, storage capacitor, if any, where each controllable switch consists of only one switched valve device connected in series

### 3.4.8

#### cell

MMC building block where each switch position consists of more than one IGBT-diode pair connected in series

NOTE See Figure A.13

### 3.4.9

#### VSC valve level

smallest indivisible functional unit of VSC valve

NOTE For any VSC valve in which IGBTs are connected in series and operated simultaneously, one VSC valve level is one IGBT-diode pair including its auxiliaries (see Figure A.13). For MMC type without IGBT-diode pairs connected in series one valve level is one submodule together with its auxiliaries (see Figure A.12).

### 3.4.10

#### diode valve level

part of a diode valve composed of a diode and associated circuits and components, if any

### 3.4.11

#### redundant levels

maximum number of series connected VSC valve levels or diode valve levels in a valve that may be short-circuited externally or internally without affecting the safe operation of the valve as demonstrated by type tests, and which if and when exceeded, would require shutdown of the valve to replace the failed levels or acceptance of increased risk of failures

NOTE In valve designs such as the cascaded two level converter, which contain two or more conduction paths within each cell and have series-connected VSC valve levels in each path, redundant levels shall be counted only in one conduction path in each cell.

### 3.4.12

#### dynamic braking valve level

part of a dynamic braking valve comprising a controllable switch and an associated diode, or controllable switches and diodes connected in parallel, or controllable switches and diodes connected to a half bridge arrangement, together with their immediate auxiliaries, storage capacitor, if any

### 3.5.1 valve structure

*Replace the existing definition by the following new definition:*

structural components of a valve, required in order to physically support the valve modules

### 3.5.2 valve support

*Delete the note.*

### 3.5.4 valve section

*Replace the definition by the following new definition and notes:*

electrical assembly defined for test purposes, comprising a number of valve levels and other components, which exhibits pro-rated electrical properties of a complete valve

NOTE 1 For valves of controllable voltage source type the valve section shall include cell or submodule d.c. capacitor in addition to VSC valve levels.

NOTE 2 The minimum number of VSC or diode valve levels allowed in a valve section is defined along with the requirements of each test.

### 3.5.5 valve base electronics

*Replace the definition by the following new definition.*



electronic unit, at earth potential, providing the electrical to optical conversion between the converter control system and the VSC valves

#### **4.1.3 Sequence of test**

*Delete the entire subclause, including the title, text and note.*

#### **4.1.4 Test procedure**

*Replace the existing sentence with the following new text:*

The tests shall be performed in accordance with IEC 60060, where applicable with due account for IEC 60071 (all parts). Partial discharge measurements shall be performed in accordance with IEC 60270.

#### **4.1.5 Ambient temperature for testing**

*Replace the text of this subclause with the following sentence:*

The tests shall be performed at the prevailing ambient temperature of the test facility, unless otherwise specified.

#### **4.1.6 Frequency for testing**

*Add, at the end of the subclause, the following note:*

NOTE Guidance on the worst service conditions can be found in CIGRÉ Technical Brochure No. 447.

*Add, after 4.1.7, a new subclause as follows:*

#### **4.1.8 Conditions to be considered in determination of type test parameters**

Type test parameters should be determined based on the worst operating and fault conditions to which the valve can be subjected, according to system studies. Guidance on the conditions can be found in CIGRÉ Technical Brochure No. 447.

### **4.2 Atmospheric correction factor**

*Insert, between the last dashed item and the last paragraph, the following new paragraph:*

Realistic worst case combinations of temperature and humidity which can occur in practice shall be used for atmospheric correction.

#### **4.4.2 Criteria applicable to valve levels**

*Replace, in this entire subclause the words “short-circuited” by “short or open circuited”*

*Delete, in the last sentence of item f), the word “total”, so that the sentence reads as follows:*

If the number of such levels exceeds 3 %, then the nature of the faults and their cause shall be reviewed and additional action, if any, agreed between purchaser and supplier.

### **Table 2 – Valve level faults permitted during type tests**

*Replace the words “short-circuited” by “short or open circuited”.*

## 6.2 Test object

*Replace in the third sentence of the first paragraph the words “VSC /diode” by “valve”.*

## 6.4 Maximum continuous operating duty test

*Delete in the fifth paragraph, the last sentence “The coolant temperature shall be not less ... temperatures in service” so that the paragraph now ends with “shall be representative of that used in service”.*

## 6.6 Minimum d.c. voltage test

*Correct in the notation for the letter symbol  $U_W$ , the word “require” to “required”.*

### 7.3.1 Valve support d.c. voltage test

*Replace, in the second sentence of the first paragraph, the words “in approximately 10 s” by “as fast as possible”.*

*Replace the existing note and the text below the note with the following new notes and text:*

NOTE 1 Where possible the test voltage should be increased from 50 % to the maximum voltage level within approximately 10 s. A longer time may be used; however, this may overstress the test object.

NOTE 2 If an increasing trend in the magnitude or rate of partial discharge is observed, the test duration may be extended by mutual agreement between the purchaser and supplier.

The test shall then be repeated with the voltage of opposite polarity.

Prior to the test and before repeating the test with voltage of opposite polarity the valve support may be short-circuited and earthed for a duration of several hours. The same procedure may be followed at the end of d.c. voltage test.

The valve support d.c. test voltage  $U_{tds}$  shall be determined in accordance with the following:

1 min. test

$$U_{tds} = \pm U_{dmS1} \cdot k_3 \cdot k_t$$

3 h test

$$U_{tds} = \pm U_{dmS2} \cdot k_3$$

where

$U_{dmS1}$  is the maximum of 1 s average value of voltage appearing across the valve support as determined by the insulation coordination study;

$U_{dmS2}$  is the maximum value of the d.c. component of the steady-state operating voltage appearing across the valve support;

$k_3$  is a test safety factor;

$k_3 = 1,1$ ;

$k_t$  is the atmospheric correction factor according to 4.2.

### 7.3.2 Valve support a.c. voltage test

*Replace the first paragraph as follows:*

To perform the test, the two main terminals of the valve shall be connected together, and the a.c. test voltage then applied between the two main terminals thus connected and earth.

Starting from a voltage not higher than 50 % of the maximum test voltage, the voltage shall be raised to the specified 1 min test voltage, kept constant for 1 min, reduced to the specified 30 min test voltage, kept constant for 30 min and then reduced to zero.

Before the end of the 30 min test the level of partial discharge shall be monitored and recorded over a 1 min period. If the value of partial discharge is below 200 pC, the design may be accepted unconditionally. If the value of partial discharge exceeds 200 pC, the test results shall be evaluated.

*Delete in the list of notations, the second and the third symbols and their meanings i.e. " $U_{\text{tas1}}$  is the 1 min test voltage" and " $U_{\text{tas2}}$  is the 30 min test voltage".*

### 8.3.1 MVU d.c. voltage test to earth

*Replace, in the second paragraph, the words "in approximately 10 s" by "as fast as possible".*

*Add, after the second paragraph the following new note and renumber the existing note as "NOTE 2".*

NOTE 1 Where possible the test voltage should be increased from 50 % to the maximum voltage level within approximately 10 s. A longer time may be used; however, this may overstress the test object.

*Replace the last two paragraphs including the list of notations, from "Prior to the test, the MVU terminal..." to " $k_t = 1,0$  for the 3 h test." by the following new text:*

Prior to the test and before repeating the test with voltage of opposite polarity the MVU terminals may be short-circuited together and earthed for a duration of several hours. The same procedure may be followed at the end of d.c. voltage test.

The MVU d.c. test voltage  $U_{\text{tdm}}$  shall be determined in accordance with the following:

1 min. test

$$U_{\text{tdm}} = \pm U_{\text{dmm1}} \cdot k_5 \cdot k_t$$

3 h test

$$U_{\text{tdm}} = \pm U_{\text{dmm2}} \cdot k_5$$

where

$U_{\text{dmm1}}$  is the maximum of 1 s average value of voltage appearing between the high-voltage terminal of the MVU and earth;

$U_{\text{dmm2}}$  is the maximum value of the d.c. component of the steady-state operating voltage appearing between the high-voltage terminal of the MVU and earth;

$k_5$  is a test safety factor;

$k_5 = 1,1$ ;

$k_t$  is the atmospheric correction factor according to 4.2.

### 8.3.2 MVU a.c. voltage test

*Replace the fourth paragraph "During the specified 30 min. test, the level ..." by the following new text:*

Before the end of the 30 min test, the level of partial discharge shall be monitored and recorded over a 1 min. period. If the value of partial discharge is below 200 pC, the design may be accepted unconditionally. If the value of partial discharge exceeds 200 pC, the test results shall be evaluated.

## 9.2 Test object

*Replace the third sentence of the first paragraph with the following new sentence:*

The test valve or valve section shall be assembled with all auxiliary components except for the valve arrester if provided.

### 9.3.1 Valve a.c. – d.c. voltage test

*Replace the entire text of this subclause by the following new text:*

This test consists of a short-duration test and a long-duration test. The short-duration test reproduces the composite a.c. – d.c. voltage resulting from certain converter or system faults.

In this test, a capacitor can be used in conjunction with an a.c. test voltage source to produce a composite a.c. – d.c. voltage waveform. Depending on the converter topology, the capacitor could be an integral part of the valve, or it could be a separate item (part of the test circuit, not part of the test object).

Alternatively, a separate d.c. voltage source could be used to substitute the capacitor.

Starting from a voltage not higher than 50 % of the maximum test voltage, the voltage shall be raised to the specified 10 s test level as fast as possible, reduced to the specified 3 h test voltage, kept constant for 3 h and then reduced to zero.

For a.c. PD (partial discharge) measurement the peak value of the periodic partial discharge recorded during the last minute of the 3 h test shall be less than 200 pC, provided that the components which are sensitive to partial discharge in the valve have been separately tested. For d.c. PD measurement the recording time shall be the last hour of the 3 h test. The number of pulses exceeding 300 pC shall not exceed 15 per minute, averaged over the record period. Of these, no more than seven pulses per minute shall exceed 500 pC, no more than three pulses per minute shall exceed 1 000 pC and no more than one pulse per minute shall exceed 2 000 pC.

NOTE 1 Performing the valve a.c. – d.c. voltage test presents considerable practical difficulties on valves of the “controllable voltage source” type because of the high current drawn by the in-built capacitance during start-up and the slow discharge rate of the capacitor at the end of the first part of the test. For this reason, it may be necessary to modify the test procedure when testing valves of this type. Alternative test methods to be considered include the temporary substitution of a special test capacitor with reduced capacitance but the same physical size, or the pre-charging of the cell or submodule d.c. capacitor from a separate source before commencing the test.

NOTE 2 Where possible the test voltage should be increased from 50 % to the maximum voltage level within approximately 10 s. A longer time may be used; however, this overstresses the test object.

NOTE 3 If an increasing trend in the rate or magnitude of partial discharge is observed, the test duration may be extended by mutual agreement between the purchaser and supplier.

NOTE 4 It may be necessary to disable gate electronics or other auxiliary circuits in this test, or provide independent means for powering them, in order to prevent interference with partial discharge measurement, for example, from gate unit power supply circuits.

NOTE 5 In the event that it is not possible to disable gate electronics or other auxiliary circuits in this test and interference can be proven to be caused by electronics circuit then this interference may be deducted from measurement.

NOTE 6 The use of a capacitor instead of a d.c. source in the test circuit should be mutually agreed by manufacturer and purchaser as the test voltage is higher than actual value.

The valve test voltages have a sinusoidal waveshape superimposed on a d.c. level.

The valve 10 s test voltage  $U_{tv1}$  shall be determined in accordance with the following:

$$U_{tv1} = (k_{c1} \cdot U_{tac1} \cdot \sin(2\pi ft) + U_{tdc1}) \cdot k_o \cdot k_9$$

where

$U_{ac1}$  is the peak value of maximum transient a.c. component over-voltage across valve. The limiting effect of valve arrester or pole arrester can be taken into account to derive the over-voltage in service condition;

$U_{dc1}$  is the maximum transient d.c. component over-voltage across valve. The limiting effect of valve arrester or pole arrester can be taken into account to derive the over-voltage in service condition;

$k_{c1}$  is the voltage step overshoot factor related to one output voltage step of the converter, under the condition consistent with that used to define  $U_{ac1}$ . For a MMC or CTL type converter the voltage step overshoot factor relates to the overshoot factor of one cell or submodule;

$k_o$  is a test scaling factor according to 4.3.2;

$k_9$  is a test safety factor;

$k_9 = 1,10$ ;

$f$  is the test frequency (50 Hz or 60 Hz depending on test facilities).

The valve 3 h test voltage  $U_{tv2}$  shall be determined in accordance with the following:

$$U_{tv2} = U_{tac2} + U_{tdc2}$$

$$U_{tac2} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\max-\text{cont}} \cdot \sin(2\pi ft)}{\sqrt{3}} \cdot k_{c2} \cdot k_o \cdot k_{10}$$

$$U_{tdc2} = U_{d\max} \cdot k_o \cdot k_{10}$$

where

$U_{\max-\text{cont}}$  is the maximum steady-state phase-to-phase voltage on the a.c. system or the valve side of the transformer, if a converter transformer is used in between a.c. system and converters;

$U_{d\max}$  is the maximum value of the d.c. component of the steady-state operating voltage of the d.c. system;

$k_{c2}$  is the voltage step overshoot factor related to one output voltage step of the converter, under the condition consistent with that used to define  $U_{tac2}$ ;

$k_o$  is a test scaling factor according to 4.3.2;

$k_{10}$  is a test safety factor;

$k_{10} = 1,10$ ;

$f$  is the test frequency (50 Hz or 60 Hz depending on test facilities).

### 9.3.2 Valve impulse tests (general)

Add, at the end of item c), the words “and consequently the impulse tests can be omitted” so that item c) reads as follows:

c) If the valve impulse withstand levels are equal to or less than the valve a.c. – d.c. test level, it is deemed that the valve a.c. – d.c. test can cover the impulse tests and consequently the impulse tests can be omitted.

### 9.3.3 Valve switching impulse test

*Replace, in the second list of notations, “ $k_{12} = 1,3$ ” by “ $k_{12} = 1,15$ ”.*

### 9.3.4 Valve lightning impulse test

*Replace, in the second list of notations, “ $k_{14} = 1,3$ ” by “ $k_{14} = 1,15$ ”.*

## 10.1 Purpose of test

*Add, at the end of the second paragraph, the following new sentence:*

Depending on the control and protection strategy more than one test may be required in order to reproduce all relevant stresses.

*Delete the fourth paragraph and subsequent three item bullet list.*

## 11.1 Purpose of tests

*Replace the existing text of this subclause by the following new text:*

The principal objective is to check the adequacy of the devices, especially the diodes, any additional components used to protect the diodes (such as bypass thyristors) and the associated electrical circuits with regard to current stresses under specified short circuit conditions, such as short-circuit fault at d.c. side, until the control and protection circuit breaks the fault current. The VSC valves should be designed to withstand the short circuit overcurrent for the number of cycles needed to open the main AC circuit breaker, without any failure or damage in the equipment, considering also that a possible recovery voltage could appear. The test should normally be performed with the valve electronics initially energized, unless the short-circuit current can occur under conditions where the valve is de-energized (for example due to the inrush current when the converter breaker is closed at start-up).

## 11.3 Test requirements

*Add, at the end of the first paragraph, the following new sentence:*

In order to define the maximum junction temperature rise of the IGBTs and the diodes, all the possible overload conditions (in terms of amplitude and duration) shall be taken into consideration.

*Insert, between 12.3.4 and Clause 13, a new clause as follows:*

## 15 Tests for dynamic braking valves

In some VSC HVDC schemes, but particularly where the HVDC system is exporting power from a small islanded a.c. system with little or no load (for example an offshore wind farm) the HVDC system may be required to include a dynamic braking system, for example as a chopper connected to the d.c. terminals of the VSC system. The function of the dynamic braking system is to absorb and dissipate the power generated in the islanded AC system during faults in the receiving-end AC system, typically for durations of 1 s to 2 s.

There are several possible ways of implementing such a dynamic braking system but the valves in this system will, in general, be of similar design to the main VSC valves used for power transmission.

The dynamic braking valves may require type tests, for which the requirements given in the preceding Clauses 6 to 12 are generally applicable; however, the dynamic braking valves generally require only a sub-set of the type tests applicable to VSC valves.

The dynamic braking valve normally remains in the standby state but is required to operate and carry current for short durations when the receiving-end a.c. system suffers a fault. The dielectric test conditions are therefore similar to those for the VSC valve but the operational test conditions only need to be applied for short durations.

## **Annex A – Overview of VSC topology**

*Replace the existing title by the following new title:*

### **Overview of VSC converters in HVDC power transmission**

#### **A.2 VSC basics**

*Replace the last sentence of the first paragraph, with the following new sentence:*

The term “level” here refers to a discrete output voltage level and should not be confused with the term “VSC valve level” which refers to a physical building-block of the valve, for example an individual IGBT and associated components.

#### **A.3 Overview of main types of VSC valve**

*Delete, in the introductory sentence of the list, the words “or have been described in literature”.*

*Replace, in the second sentence of the second bullet item the words “... cannot be separated from ...” by “cannot conveniently be separated from ...”*

*Add, at the end of the subclause, the following new paragraph:*

Some other categories of “hybrid” VSC valve have also been described in literature and exhibit a mixture of characteristics from the two categories above; however at the time of writing, development work in these topologies is in the relatively early stages and these topologies are not yet commercially available.

##### **A.4.1 General**

*Replace the first two paragraphs by the following new paragraphs:*

VSC valves of this type bear a close apparent resemblance to conventional thyristor valves, in that they consist of a large number of series-connected IGBT devices which are switched simultaneously. In common with conventional thyristor valves, simultaneous switching of the series-connected IGBTs is vital. Redundancy can be provided in the same way as for an LCC thyristor valve, by providing a few additional IGBT devices in series and either ensuring that the IGBTs are of a special type with short-circuit failure mode, or are equipped with a parallel-connected shorting switch.

Valves of this type are normally used with converters with a relatively low number of output levels. To compensate for the low number of output levels, such converters usually use pulse width modulation (PWM) to achieve a good approximation of a sinusoidal output voltage.

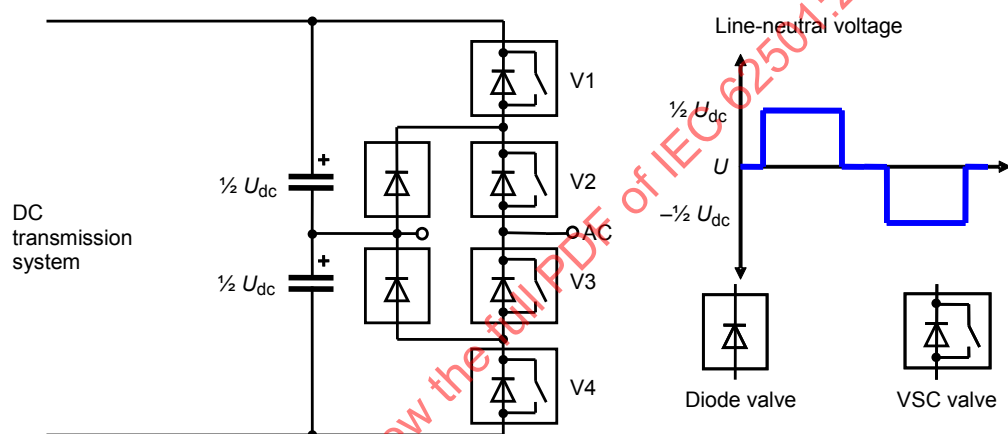
#### A.4.2 2-level converter

Add, at the end of the last sentence in brackets in the first paragraph, the words “in order to prevent a “shoot-through” or simultaneous conduction of the two valves in series.” so that the new sentence reads as follows:

(In practice, there is usually a slight dead-time or “underlap” between the two valves in order to prevent a “shoot-through” or simultaneous conduction of the two valves in series.)

**Figure A.5 – Basic circuit topology of one phase unit of a 3-level diode-clamped converter**

Replace the existing figure by the following new figure:

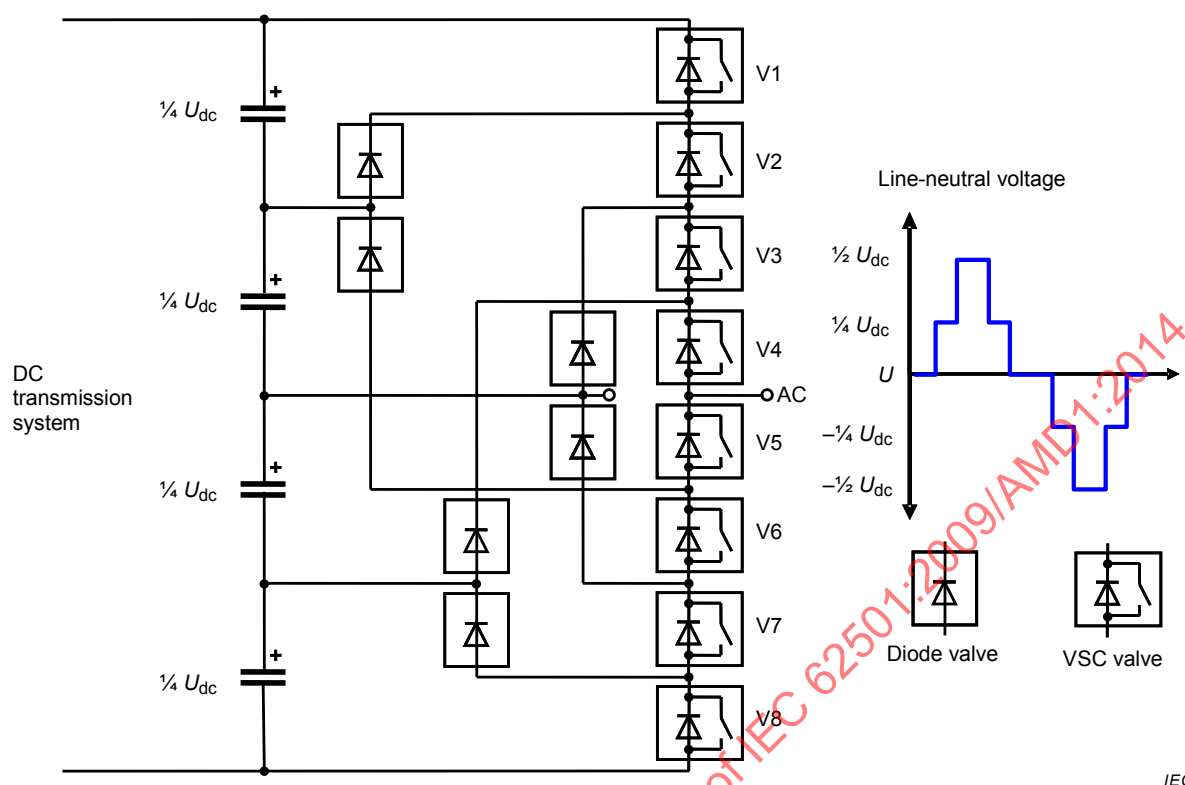


IEC

**Figure A.6 – Basic circuit topology of one phase unit of a 5-level diode-clamped converter**

Replace the existing figure by the following new figure:





## A.5 VSC valves of the “controllable voltage source” type

Insert, between the existing title and the text of this clause, the following new subclause title:

### A.5.1 General

Replace the third and fourth paragraphs as follows:

Each of the valves V1 and V2 in the phase unit produces an output voltage consisting of a sinusoidal a.c. component with a d.c. offset (equal to  $\frac{1}{2} U_{dc}$ ). The output voltages of the two valves are varied such that at any given time,  $U(V1) + U(V2) = U_{dc}$ .

In principle, there can be many different methods of implementing such a valve, but two (closely related) methods have found widespread application: the modular multi-level converter (MMC) and the cascaded two-level converter (CTL).

### Figure A.9 – One possible implementation of a multi-level “voltage source” VSC valve

Delete the figure.

Add, the following new subclauses and new figures :

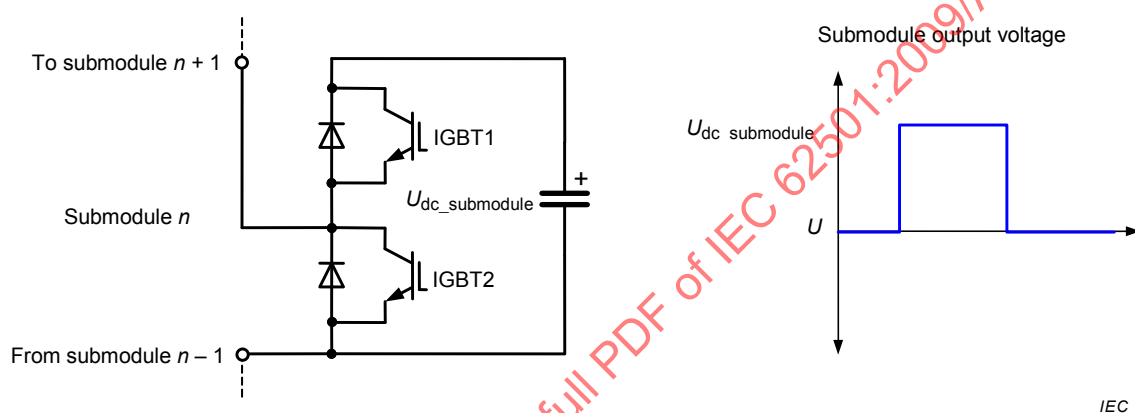
### A.5.2 Modular multi-level converter (MMC)

One implementation of the MMC circuit is shown in Figure A.9. The circuit of each submodule is modular, each submodule comprising a single, isolated d.c. capacitor and two IGBT switches. In effect, this circuit is very similar to that of the basic 2-level converter (see Figure A.4) except that the interconnections between submodules are made from the a.c. terminal (between IGBT1 and IGBT2) of one submodule, to one of the d.c. terminals of the neighbouring submodule. With this circuit, each submodule can produce two discrete output states:  $U = 0$  (obtained by switching IGBT2 on) or  $U = U_{dc\_submodule}$  (obtained by switching

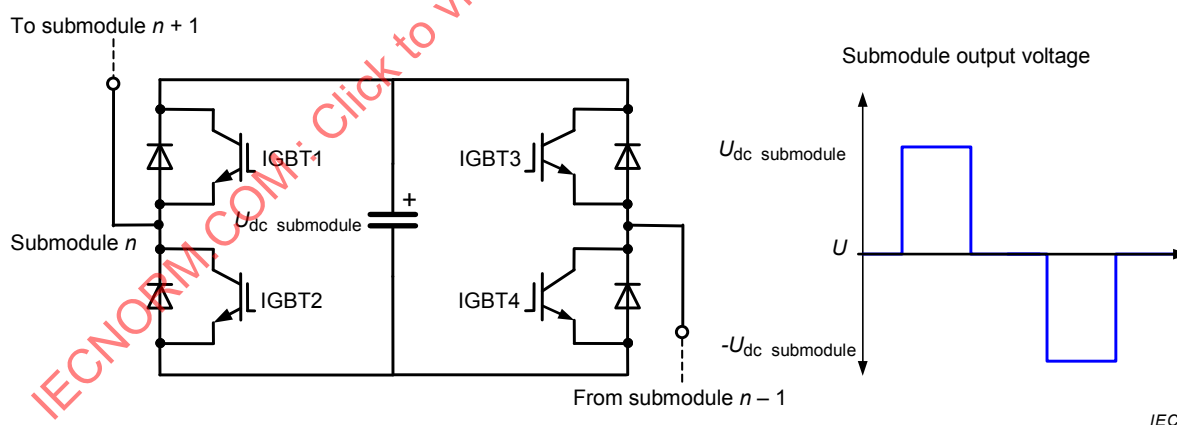
IGBT1 on).  $U_{dc\_submodule}$  is the d.c. link voltage of a single submodule, which is much less than  $U_{dc}$ , the d.c. link voltage of the complete system.

With this circuit, it is possible to synthesize a unipolar valve output voltage with a maximum of  $U = U_{dc}$  and a minimum of  $U = 0$ . However, in common with all the converter topologies discussed so far, the converter has no capacity to suppress the overcurrent which arises from a short-circuit between the d.c terminals of the converter. This is because although the two IGBTs can be turned off very quickly, a conducting path always remains through the freewheel diode in parallel with IGBT2.

Another implementation of the MMC circuit addresses this shortcoming by using a full-bridge arrangement, as shown on Figure A.10, instead of the half-bridge arrangement shown in Figure A.9.



**Figure A.9 – The half-bridge MMC circuit**



**Figure A.10 – The full-bridge MMC circuit**

In the full-bridge version of the MMC, each submodule contains four IGBTs instead of two, and can produce three discrete output voltage states:

- $U = 0$  (obtained by switching on either IGBT1 + IGBT3 or IGBT2 + IGBT4);
- $U = +U_{dc\_submodule}$  (obtained by switching on IGBT1+IGBT4); or
- $U = -U_{dc\_submodule}$  (obtained by switching on IGBT2+IGBT3)

The full-bridge circuit allows the valve to synthesize an output voltage of either polarity, allowing a new voltage-sourced converter to be connected as a tap to an existing HVDC line. Even when used on a unipolar d.c. line, the additional flexibility provided by the circuit allows the a.c. component of valve voltage to exceed the d.c. component (which is not possible with the half-bridge circuit), resulting in a lower a.c. current in the valve. In addition, the ability to suppress fault currents arising from short-circuits between the d.c. terminals can allow some simplification of protective functions. On the other hand the IGBT component count and the conduction losses, are increased by nearly double compared with the half-bridge version.

Since the MMC circuit is inherently modular, it is relatively straightforward to obtain high numbers of output levels, without requiring either PWM (which leads to higher switching losses and requires filtering) or series-connected IGBTs (which leads to problems of ensuring voltage distribution). Industry standard IGBT devices can be used, which is not the case for valves of the switch type. Redundancy cannot be provided within each submodule (because the correct operation of the submodule requires both IGBTs to be healthy) and is usually provided by equipping the valve with a few extra submodules and ensuring that the entire submodule is shorted out in the event of a failure.

On the other hand, the number and size of discrete d.c. capacitors required can be considerable, and there may be difficulties in ensuring that all d.c. capacitor voltages remain balanced. In comparison with two- or three-level converters, therefore, this topology allows for a simpler valve design and lower losses at the expense of a more complex controls architecture and greater space requirement.

### **A.5.3 Cascaded two level converter (CTL)**

An advantage of the MMC circuit is that it avoids the need for IGBTs to be directly connected and switched synchronously in series. However, it is also possible to realise the MMC circuit with more than one IGBT in series in each switching position. Converters designed in this way are referred to as cascaded two level converters in order to distinguish them from the MMC circuit, although in nearly every respect the circuit functions in exactly the same way as the MMC circuit.

In common with the MMC circuit, the CTL circuit can exist in half-bridge and full-bridge variants. The building-block of the CTL valve is referred to as a “cell” and the half-bridge version of a cell is shown on Figure A.11. Each of the two switch positions consist of  $n$  IGBTs in series, switched synchronously, and the cell d.c. capacitor will operate at approximately  $n$  times the voltage of a submodule d.c. capacitor in the MMC circuit.

In operational terms the only significant difference between the CTL and MMC circuits is that the CTL circuit produces a valve output voltage containing fewer, larger, steps than the MMC circuit. Its harmonic performance is therefore not quite as good as that of the MMC circuit, although if the number of IGBTs per switching position is modest (for example, 5 to 10) then it can still achieve very high waveform quality while permitting some simplification of the control system compared to the MMC circuit. The CTL circuit does, however, require sophisticated IGBT gate drive circuits and a more specialised type of IGBT, in common with all valves of the switch type.

Redundancy is provided within each cell by equipping each switch position with more IGBTs than are normally required to operate within the rated voltage of the converter.

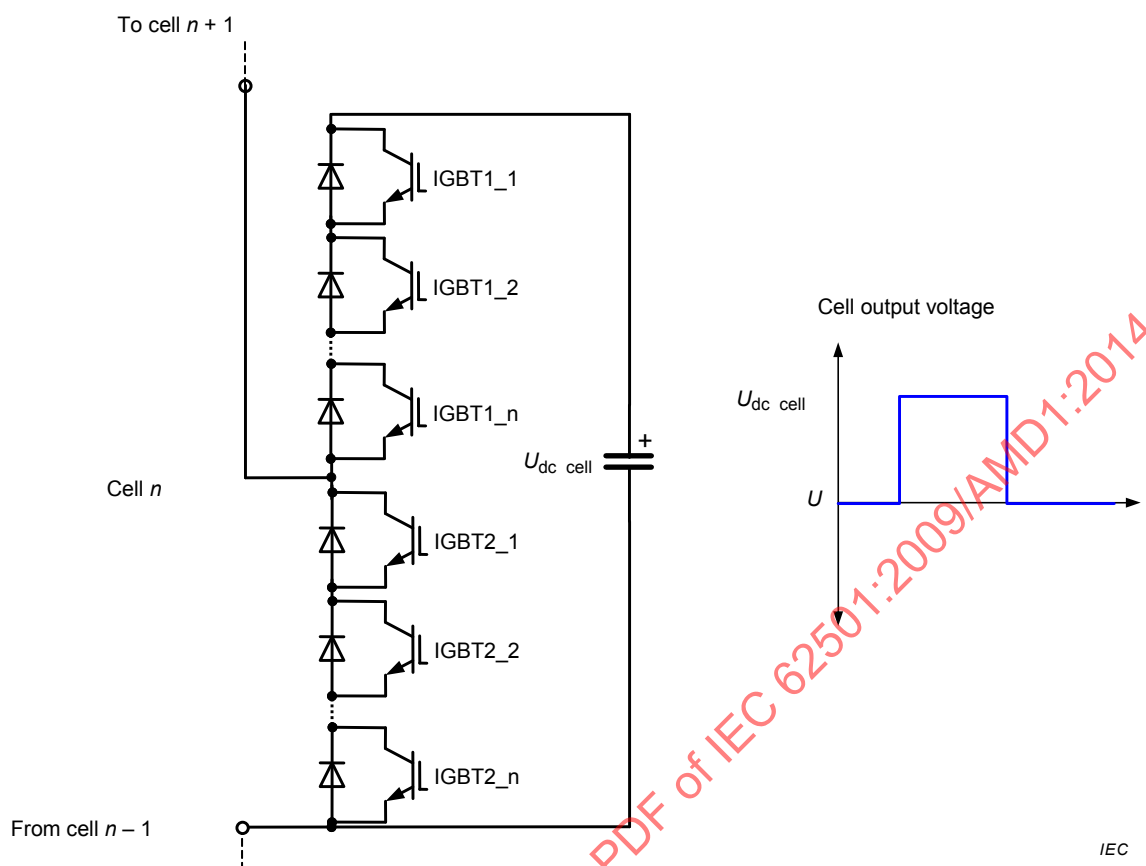
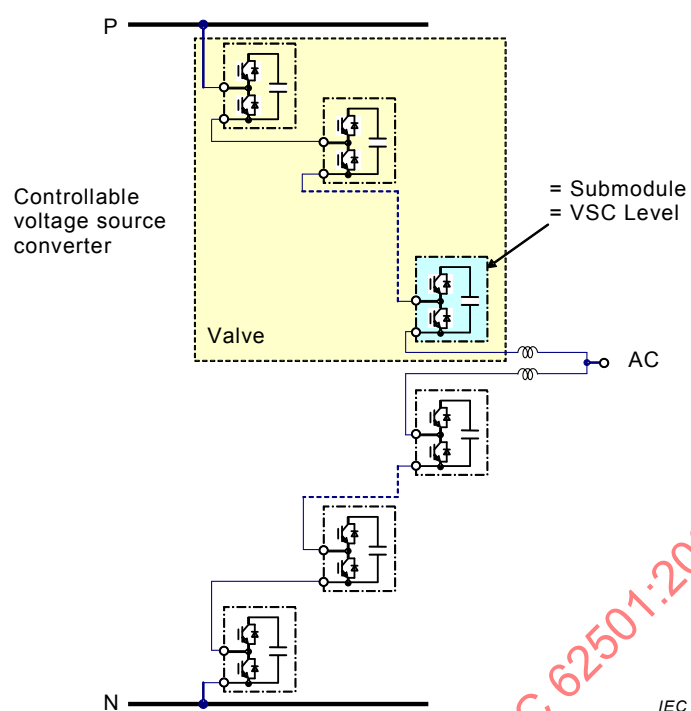


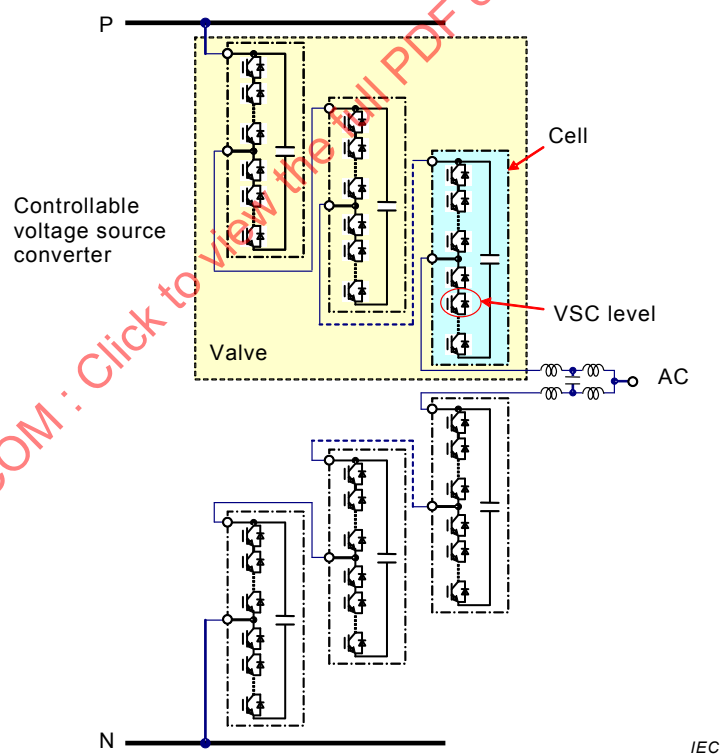
Figure A.11 – The half-bridge CTL circuit

#### A.5.4 Terminology for valves of the controllable voltage source type

Figures A.12 and A.13 illustrate the main constructional terms for valves of the MMC and CTL type respectively, to explain the meaning of terms such as VSC level, submodule and cell.



**Figure A.12 – Construction terms in MMC valves**



**Figure A.13 – Construction terms in CTL valves**

*Insert, between the new A.5.4 and the existing Clause A.6, a new clause as follows:*

## A.7 Hybrid VSC valves

Some published literature has suggested alternative types of VSC valve which possess characteristics of both the switch type and controllable voltage source type. Since the pace of development in this field is quite rapid it is considered beyond the scope of this document to present a detailed treatment of these new converter topologies; however, a basic treatment is given in CIGRÉ Technical Brochure No. 492.

## A.6 Main differences between VSC and conventional HVDC valves

*Replace, in the first sentence of the second bullet item, the words “In VSC valves, the valve is not capable ...” by “In most VSC valves, the valve is not capable ...”*

## Annex B – Fault tolerance capability

*Replace the existing annex title with the following new annex title:*

### Valve component fault tolerance

*Replace the title and text of item a) by the following:*

#### a) Short circuit of a VSC valve

Even though a short-circuit IGBT-diode pair or the operation of an external valve level shorting device will shunt the other components at the valve level, in some designs there may be a danger of overload of current connections or changes in clamping load.

*Delete, in the second sentence of the last paragraph the words “in the type test programme,” .*

## Bibliography

*Delete the last reference “CIGRÉ B4-WG37 ...”*

*Add the following new references:*

IEC TR 62543, *High voltage direct current (HVDC) power transmission using voltage sourced converters (VSC)*

CIGRÉ Technical Brochure No. 269, *VSC Transmission*

CIGRÉ Technical Brochure No. 447, *Components Testing of VSC Systems for HVDC Applications*

CIGRÉ Technical Brochure No. 492, *Voltage Sourced Converter (VSC) for HVDC Power Transmission – Economic Aspects and Comparison with other AC and DC Technologies*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62501:2009/AMD1:2014

## AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le sous-comité 22F: Electronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution, du comité d'études 22 de l'IEC: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

|             |                 |
|-------------|-----------------|
| FDIS        | Rapport de vote |
| 22F/299/CDV | 22F/316A/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.**

## SOMMAIRE

### 3.3 États de fonctionnement

*Remplacer le titre du paragraphe comme suit:*

#### 3.3 États de fonctionnement du convertisseur

#### 4.1.3 Séquence d'essai

*Supprimer le titre du paragraphe.*

*Ajouter les titres du nouveau Paragraphe 4.1.8 et du nouvel Article 15 comme suit:*

#### 4.1.8 Conditions à prendre en considération pour la détermination des paramètres des essais de type

#### 15 Essais pour les valves à freinage dynamique

Annexe A (informative) Vue d'ensemble de la topologie des VSC



*Remplacer le titre de l'annexe comme suit:*

Annexe A (informative) Vue d'ensemble des convertisseurs VSC dans le cadre du transport d'énergie CCHT

*Ajouter les titres des nouveaux Paragraphes A.5.1 à A.5.4 et du nouvel Article A.7 comme suit:*

- A.5.1 Généralités
- A.5.2 Convertisseur multiniveaux modulaire (MMC)
- A.5.3 Convertisseur à deux niveaux monté en cascade (CTL)
- A.5.4 Terminologie relative aux valves du type « à source de tension commandable »
- A.7 Valves à VSC hybrides

Annexe B (informative) Capacité de tolérance aux pannes

*Modifier le titre de l'annexe comme suit:*

Annexe B (informative) Tolérance aux pannes des composants de valves

Figure A.9 – Une mise en oeuvre possible d'une valve à VSC « à source de tension » multi-niveaux

*Remplacer le titre de la figure comme suit:*

Figure A.9 - Circuit MMC en demi-pont

*Ajouter, à la liste des figures, les titres des Figures A.10 à A.13 comme suit:*

- Figure A.10 – Circuit MMC en pont intégral
- Figure A.11 – Circuit CTL en demi-pont
- Figure A.12 – Termes relatifs à la construction des valves du type MMC
- Figure A.13 – Termes relatifs à la construction des valves du type CTL

## **1 Domaine d'application**

*Ajouter, après le premier alinéa, les deux alinéas suivants:*

Le domaine d'application de la présente norme inclut les essais de type électrique et de production des valves à freinage dynamique qui peuvent être utilisées dans certains systèmes CCHT destinés à limiter la surtension à courant continu.

La présente norme peut être utilisée comme guide pour l'essai des valves STATCOM.

*Ajouter, à la fin de la dernière phrase du dernier alinéa, l'expression "entre le client et le fournisseur", et transformer la dernière phrase comme suit:*

Pour les autres types de valves, il convient que les exigences relatives aux essais et les critères d'acceptation fassent l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur.

## **2 Références normatives**

*Supprimer de la liste existante, les références suivantes:*

IEC 60060-1:1989, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

IEC 60071-1:2006, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

*Ajouter à la liste les références suivantes:*

IEC 60071 (toutes les parties), *Coordination de l'isolement*

IEC 60270:2000, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

### **3.2 Termes relatifs au semi-conducteur de puissance**

*Remplacer le texte introductif, les termes et les définitions existants par les nouveaux termes et définitions suivants:*

#### **3.2.1**

##### **dispositif à semi-conducteur blocable**

dispositif à semi-conducteur commandable qui peut être réactivé et coupé par un signal de commande, par exemple, un transistor bipolaire à grille isolée (ou IGBT)

NOTE Il existe plusieurs types de dispositifs à semi-conducteur blocables qui peuvent être utilisés dans les convertisseurs VSC en courant continu à haute tension (CCHT). Pour des raisons pratiques, le terme IGBT est utilisé tout au long de la présente norme pour faire référence au principal dispositif à semi-conducteur blocable. Cependant, la norme s'applique également aux autres types de dispositif à semi-conducteur blocable.

#### **3.2.2**

##### **transistor bipolaire à grille isolée**

**IGBT** (*insulated gate bipolar transistor en anglais*)

dispositif à semi-conducteur blocable à trois bornes, une borne de grille (G) et deux bornes de charge, émetteur (E) et collecteur (C)

NOTE En appliquant la grille appropriée aux tensions de l'émetteur, le courant de charge peut être commandé, c'est-à-dire être coupé ou réactivé.

#### **3.2.3**

##### **diode de roue libre**

##### **DRL**

dispositif à semi-conducteur de puissance ayant les caractéristiques d'une diode

NOTE 1 Une DRL possède deux bornes: une anode (A) et une cathode (K). Le courant dans les DRL circule en sens opposé au courant de l'IGBT.

NOTE 2 Les DRL sont caractérisées par leur capacité à faire face à des chutes brutales de courant dues au comportement de commutation de l'IGBT.

#### **3.2.4**

##### **paire diode-IGBT**

combinaison de l'IGBT et de la DRL connectés en parallèle en sens inverse

### **3.3 États de fonctionnement**

*Remplacer le titre, les termes et les définitions existants par les nouveaux titres, termes et définitions suivants.*

### **3.3 États de fonctionnement du convertisseur**

#### **3.3.1**

##### **état de blocage**

situation du convertisseur dans laquelle un signal de mise hors tension est appliqué de manière continue à tous les IGBT du convertisseur

NOTE Généralement, le convertisseur est à l'état de blocage après la mise sous tension.

### 3.3.2

#### **état débloqué**

situation du convertisseur dans laquelle des signaux de mise sous tension et de mise hors tension sont appliqués de manière répétitive à tous les IGBT du convertisseur

### 3.3.3

#### **blocage de protection de la valve**

dispositif de protection de la valve ou du convertisseur d'une contrainte électrique excessive par la mise hors tension d'urgence de tous les IGBT dans une ou plusieurs valves

### 3.3.4

#### **niveau de palier de tension**

palier de tension provoqué par la commutation d'une valve ou d'une partie d'une valve lors de l'état débloqué du convertisseur

NOTE Pour les valves du type à source de tension commandable, le niveau de palier de tension correspond à la variation de tension due à la commutation d'un sous-module ou d'une cellule. Pour les valves du type commutateur, le niveau de palier de tension correspond à la variation de tension due à la commutation de la valve entière.

## 3.4 Termes relatifs à la construction du VSC

*Remplacer les termes et définitions existants par les nouveaux termes et définitions suivants:*

### 3.4.1

#### **unité de phase du VSC**

équipement utilisé pour connecter les deux barres omnibus c.c. à une borne c.a.

### 3.4.2

#### **valve à VSC du type «commutateur»**

disposition de paires diode-IGBT connectées en série et configurées de manière à être commutées simultanément en une unité fonctionnelle simple

### 3.4.3

#### **valve à VSC du type à source de tension commandable**

ensemble complet à source de tension commandable, connecté généralement entre une borne à courant alternatif et une borne à courant continu

### 3.4.4

#### **valve à diode**

valve à semi-conducteur comprenant uniquement des diodes comme principaux dispositifs à semi-conducteur, pouvant servir dans certaines topologies de VSC

### 3.4.5

#### **valve à freinage dynamique**

dispositif commandable complet qui sert à réguler l'absorption d'énergie dans la résistance de freinage

### 3.4.6

#### **valve**

valve à VSC, valve à freinage dynamique ou valve à diode selon le contexte

### 3.4.7

#### **sous-module**

partie d'une valve à VSC comprenant des commutateurs et des diodes commandables connectés en demi-pont ou en pont intégral, ainsi que leurs auxiliaires immédiats et condensateur de stockage, le cas échéant, où chaque commutateur commandable comporte un seul dispositif à valve commuté connecté en série

### **3.4.8 cellule**

bloc module MMC où chaque position de commutateur se compose de deux paires diode-IGBT ou plus connectées en série

NOTE Voir Figure A.13.

### **3.4.9 niveau de valve à VSC**

plus petite unité fonctionnelle indivisible d'une valve à VSC

NOTE Pour toute valve à VSC dans laquelle les IGBT sont connectés en série et manœuvrés simultanément, un niveau de valve à VSC correspond à une paire diode-IGBT, y compris ses auxiliaires (voir Figure A.13). Pour un type MMC sans paires diode-IGBT connectées en série, un niveau de valve correspond à un sous-module associé à ses auxiliaires (voir Figure A.12).

### **3.4.10 niveau de valve à diode**

partie d'une valve à diode composée d'une diode et de ses circuits et composants associés, le cas échéant

### **3.4.11 niveaux redondants**

nombre maximal de niveaux de valve à VSC connectés en série ou de niveaux de valve à diode dans une valve, qui peut supporter un court-circuit externe ou interne sans que le fonctionnement sécurisé de la valve n'en soit altéré, comme il est démontré par les essais de type, et qui, en cas de dépassement, entraîne l'arrêt de la valve pour permettre le remplacement des niveaux défectueux ou l'acceptation d'un risque accru de dysfonctionnements

NOTE Dans les conceptions de valves telles que le convertisseur à deux niveaux monté en cascade, qui contiennent deux chemins de conduction ou plus dans chaque cellule et comportent des niveaux de valve à VSC connectés en série dans chaque chemin, les niveaux redondants doivent être dénombrés uniquement dans un chemin de conduction de chaque cellule.

### **3.4.12 niveau de valve à freinage dynamique**

partie d'une valve à freinage dynamique comprenant un commutateur commandable et une diode associée, ou bien des commutateurs et des diodes commandables connectés en parallèle, ou encore des commutateurs et des diodes commandables connectés en demi-pont, ainsi que leurs auxiliaires immédiats et condensateur de stockage, le cas échéant

## **3.5.1 structure de la valve**

*Remplacer la définition existante par la nouvelle définition suivante:*

composants de structure d'une valve, exigés afin de soutenir physiquement les modules de valves

## **3.5.2 support de valve**

*Supprimer la note.*

## **3.5.4 section de valve**

*Remplacer la définition par la nouvelle définition et les notes suivantes:*

assemblage électrique défini à des fins d'essais, comportant un certain nombre de niveaux de valve et d'autres composants, qui présente les propriétés électriques préassignées d'une valve complète

NOTE 1 Pour les valves du type à source de tension commandable, la section de valve doit inclure un condensateur à courant continu de cellule ou de sous-module outre les niveaux de valve à VSC.

NOTE 2 Le nombre minimal de niveaux de valve à VSC ou à diode autorisé dans une section de valve est défini avec les exigences de chaque essai.

### 3.5.5 électronique de base de la valve

*Remplacer la définition par la nouvelle définition suivante:*

unité électronique, au potentiel de terre, qui assure la conversion électrique-optique entre le système de commande du convertisseur et les valves à VSC

### 4.1.3 Séquence d'essai

*Supprimer le paragraphe entier, y compris le titre, le texte et la note.*

### 4.1.4 Procédure d'essai

*Remplacer la phrase existante par le nouveau texte suivant:*

Les essais doivent être effectués conformément à l'IEC 60060, le cas échéant en tenant dûment compte de l'IEC 60071 (toutes les parties). Les mesurages des décharges partielles doivent être réalisés conformément à l'IEC 60270.

### 4.1.5 Température ambiante pour les essais

*Remplacer le contenu du paragraphe par la phrase suivante:*

Les essais doivent être effectués à la température ambiante prédominant dans l'installation d'essai, sauf spécification contraire.

### 4.1.6 Fréquence pour les essais

*Ajouter, à la fin du paragraphe, la note suivante:*

NOTE Les lignes directrices concernant les conditions d'utilisation les plus défavorables peuvent être obtenues dans la brochure technique n° 447 du CIGRÉ.

*Ajouter, après 4.1.7, un nouveau paragraphe comme suit*

### 4.1.8 Conditions à prendre en considération pour la détermination des paramètres des essais de type

Il convient de déterminer les paramètres des essais de type sur la base des conditions de fonctionnement et de panne les plus défavorables auxquelles la valve peut être soumise, selon les études du système. Les lignes directrices concernant les conditions peuvent être obtenues dans la brochure technique 447 du CIGRÉ.

## 4.2 Facteur de correction atmosphérique

*Insérer, entre le dernier tiret et le dernier alinéa, le nouvel alinéa suivant:*

Les combinaisons réalistes les plus défavorables de température et d'humidité qui peuvent exister dans la pratique doivent être utilisées pour la correction atmosphérique.

### 4.4.2 Critères applicables aux niveaux de valve

*Remplacer, dans l'ensemble du paragraphe l'expression "court-circuités" par l'expression "court-circuités ou à circuit ouvert"*

*Supprimer, dans la dernière phrase du point f), le terme "total", et transformer la dernière phrase comme suit:*

Si le nombre de ces niveaux dépasse 3 %, la nature et la cause des pannes doivent être revues et une action supplémentaire, le cas échéant, doit faire l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur.

## **Tableau 2– Pannes de niveau de valve autorisées au cours des essais de type**

*Remplacer l'expression "court-circuités" par l'expression "court-circuités ou à circuit ouvert."*

### **6.2 Objet d'essai**

*Remplacer dans la troisième phrase du premier alinéa l'expression "VSC /diode" par "valve".*

### **6.4 Essai de contrainte en fonctionnement continu maximal**

*Supprimer, dans le cinquième alinéa, la dernière phrase "La température du liquide de refroidissement ne doit pas être inférieure ...au cours de l'utilisation" et terminer l'alinéa par "doit être représentatif de celui employé au cours de l'utilisation".*

### **6.6 Essai de tension c.c. minimale**

*Cette correction ne s'applique que dans la langue anglaise.*

#### **7.3.1 Essai de tension c.c. du support de valve**

*Remplacer, dans la deuxième phrase du premier alinéa, l'expression "en approximativement 10 s" par "le plus rapidement possible".*

*Remplacer la note et le texte existant sous la note par les nouveaux texte et notes comme suit:*

NOTE 1 Il convient, dans toute la mesure du possible, d'augmenter la tension d'essai de 50 % au niveau de tension maximale en approximativement 10 s. Une durée plus longue peut être utilisée; toutefois, ceci peut soumettre l'objet d'essai à une contrainte excessive.

NOTE 2 Si une tendance croissante est observée dans l'amplitude ou le taux de décharge partielle, la durée de l'essai peut être augmentée par accord mutuel entre le client et le fournisseur.

L'essai doit alors être répété avec la tension de polarité opposée.

Préalablement à l'essai et avant de recommencer l'essai avec la tension de polarité opposée, le support de valve peut être court-circuité et mis à la terre pendant plusieurs heures. Cette procédure peut être répétée à la fin de l'essai de tension continue.

La tension d'essai continue du support de valve  $U_{tds}$  doit être déterminée conformément aux éléments suivants:

essai pendant 1 min.

$$U_{tds} = \pm U_{dmS1} \cdot k_3 \cdot k_t$$

essai pendant 3 h

$$U_{tds} = \pm U_{dmS2} \cdot k_3$$

où

$U_{dmS1}$  est la valeur moyenne maximale de la tension pendant 1 s apparaissant à travers le support de valve, déterminée par l'étude de coordination de l'isolement;

$U_{dmS2}$  est la valeur maximale de la composante continue de la tension de fonctionnement en régime permanent apparaissant à travers le support de valve;

$k_3$  est le facteur de sécurité d'essai;

$k_3 = 1,1$ ;

$k_t$  est le facteur de correction atmosphérique selon 4.2.

### 7.3.2 Essai de tension c.a. du support de valve

*Remplacer le premier alinéa comme suit:*

Pour effectuer l'essai, les deux principales bornes de la valve doivent être connectées entre elles et ensuite, la tension d'essai alternative doit être appliquée entre les deux principales bornes connectées entre elles et la terre.

En partant d'une tension inférieure à 50 % de la tension d'essai maximale, la tension doit être augmentée jusqu'à atteindre la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 1 min, rester constante pendant 1 min, être réduite jusqu'à atteindre la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 30 min, rester constante pendant 30 min, et enfin être ramenée à zéro.

Avant la fin de l'essai de 30 min, le niveau de décharge partielle doit être surveillé et enregistré sur une période de 1 min. Si la valeur de décharge partielle est inférieure à 200 pC, le modèle peut être accepté sans condition. Si la valeur de décharge partielle est supérieure à 200 pC, les résultats d'essai doivent être évalués.

*Supprimer, dans la liste de notations, le deuxième et le troisième symboles et leurs significations, c'est-à-dire " $U_{tas1}$  est la tension d'essai à maintenir pendant 1 min" et " $U_{tas2}$  est la tension d'essai à maintenir pendant 30 min".*

### 8.3.1 Essai de tension c.c. de la MVU à la terre

*Remplacer, dans le deuxième alinéa, l'expression "en approximativement 10 s" par "le plus rapidement possible".*

*Ajouter, après le deuxième alinéa, la nouvelle note suivante et renuméroter la note existante en "NOTE 2"*

NOTE 1 Il convient, dans toute la mesure du possible, d'augmenter la tension d'essai de 50 % au niveau de tension maximale en approximativement 10 s. Une durée plus longue peut être utilisée; toutefois, ceci peut soumettre l'objet d'essai à une contrainte excessive.

*Remplacer les deux derniers alinéas, y compris la liste des notations, à partir de "Préalablement à l'essai, les bornes de la MVU..." jusqu'à " $k_t = 1,0$  pour l'essai de maintien de la tension pendant 3 h" par le nouveau texte suivant:*

Préalablement à l'essai et avant de recommencer l'essai avec une tension de polarité opposée, les bornes de la MVU peuvent être court-circuitées ensemble et mises à la terre pendant plusieurs heures. Cette procédure peut être répétée à la fin de l'essai de tension continue.

La tension d'essai continue de la MVU  $U_{tdm}$  doit être déterminée conformément aux éléments suivants:

essai pendant 1 min.

$$U_{tdm} = \pm U_{dmm1} \cdot k_5 \cdot k_t$$

essai pendant 3 h

$$U_{tdm} = \pm U_{dmm2} \cdot k_5$$

où

$U_{dmm1}$  est la valeur moyenne maximale de la tension pendant 1 s apparaissant entre la borne à haute tension de la MVU et la terre;

$U_{dmm2}$  est la valeur maximale de la composante continue de la tension de fonctionnement en régime permanent apparaissant entre la borne à haute tension de la MVU et la terre;

$k_5$  est le facteur de sécurité d'essai;

$k_5 = 1,1$ ;

$k_t$  est le facteur de correction atmosphérique selon 4.2.

### 8.3.2 Essai de tension c.a. de la MVU

*Remplacer le quatrième alinéa "Au cours de l'essai spécifié de maintien de la tension pendant 30 min, le niveau ..." par ce qui suit:*

Avant la fin de l'essai de 30 min, le niveau de décharge partielle doit être surveillé et enregistré sur une période de 1 min. Si la valeur de décharge partielle est inférieure à 200 pC, le modèle peut être accepté sans condition. Si la valeur de décharge partielle est supérieure à 200 pC, les résultats d'essai doivent être évalués.

## 9.2 Objet d'essai

*Remplacer la troisième phrase du premier alinéa par la nouvelle phrase suivante:*

La valve ou section de valve d'essai doit être montée avec tous les composants auxiliaires à l'exception du parasurtenseur de valve lorsqu'il existe.

### 9.3.1 Essai de tension c.a. – c.c. de la valve

*Remplacer le texte complet du 9.3.1 par le nouveau texte suivant:*

Cet essai est constitué d'un essai de courte durée et d'un essai de longue durée. L'essai de courte durée reproduit la tension composite alternative - continue résultant de certaines pannes au niveau du convertisseur ou du système.

Dans cet essai, un condensateur peut être utilisé en combinaison avec une source de tension d'essai alternative pour produire une forme d'onde de tension composite alternative – continue. En fonction de la topologie du convertisseur, le condensateur peut être une partie intégrante de la valve ou un élément séparé (une partie du circuit d'essai ne faisant pas partie de l'objet d'essai).

En variante, une source de tension continue distincte peut être utilisée à la place du condensateur.

En partant d'une tension inférieure à 50 % de la tension d'essai maximale, la tension doit être accélérée le plus rapidement possible pour atteindre le niveau d'essai spécifié de maintien de la tension pendant 10 s, être ensuite réduite pour atteindre la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 3 h, et rester constante pendant 3 h, puis enfin être ramenée à zéro.

Pour un mesurage de la décharge partielle en courant alternatif, la valeur de crête de la décharge partielle périodique enregistrée au cours de la dernière minute de l'essai de maintien de la tension pendant 3 h doit être inférieure à 200 pC, à condition que les composants sensibles à la décharge partielle dans la valve aient fait l'objet d'essais séparés.



Pour un mesurage de la décharge partielle en courant continu, la durée de l'enregistrement doit correspondre à la dernière heure de l'essai de 3 h. Le nombre d'impulsions dépassant 300 pC ne doit pas être supérieur à 15 par minute, en moyenne pendant toute la durée de l'enregistrement. Parmi ces impulsions, le nombre d'impulsions dépassant 500 pC doit se limiter à sept par minute, le nombre d'impulsions dépassant 1 000 pC doit se limiter à trois par minute et le nombre d'impulsions dépassant 2 000 pC doit se limiter à une par minute.

NOTE 1 Réaliser l'essai de tension alternative - continue de la valve présente des difficultés pratiques importantes avec les valves du type à "source de tension commandable", en raison du courant élevé appelé par la capacité intégrée lors du démarrage et du taux de décharge lente du condensateur à la fin de la première partie de l'essai. Pour cette raison, il peut se révéler nécessaire de modifier le mode opératoire d'essai des valves de ce type. Les autres méthodes d'essai à prendre en considération incluent le remplacement provisoire d'un condensateur d'essai spécial à capacité réduite, mais de mêmes dimensions physiques, ou le préchargement du condensateur à courant continu de la cellule ou du sous-module à partir d'une source distincte avant de commencer l'essai.

NOTE 2 Il convient, dans toute la mesure du possible, d'augmenter la tension d'essai de 50 % au niveau de tension maximale en approximativement 10 s. Une durée plus longue peut être utilisée; toutefois, ceci soumet l'objet d'essai à une contrainte excessive.

NOTE 3 Si une tendance croissante est observée dans le taux ou l'amplitude de décharge partielle, la durée de l'essai peut être augmentée par accord mutuel entre le client et le fournisseur.

NOTE 4 Il peut s'avérer nécessaire de désactiver l'électronique de grille ou d'autres circuits auxiliaires lors de cet essai, ou de prévoir des moyens indépendants pour leur alimentation, afin de prévenir toute interférence avec le mesurage de la décharge partielle, provenant par exemple des circuits d'alimentation de l'unité de grille.

NOTE 5 Dans le cas où la désactivation de l'électronique de grille ou d'autres circuits auxiliaires lors de cet essai n'est pas possible, et où il peut être démontré que les interférences sont provoquées par un circuit électronique, ces interférences peuvent alors être déduites du mesurage.

NOTE 6 Il convient que l'utilisation d'un condensateur au lieu d'une source en courant continu dans le circuit d'essai soit convenue par accord mutuel entre le fabricant et le client puisque la tension d'essai est plus élevée que la valeur réelle.

Les tensions d'essai de la valve ont une forme d'onde sinusoïdale superposée à un niveau de courant continu.

La tension d'essai de 10 s de la valve  $U_{tv1}$  doit être déterminée conformément à la formule suivante:

$$U_{tv1} = (k_{c1} \cdot U_{tac1} \cdot \sin(2\pi ft) + U_{tdc1}) \cdot k_o \cdot k_g$$

où

$U_{ac1}$  est la valeur de crête de la surtension transitoire maximale de la composante alternative au niveau de la valve. L'effet de limitation du parasurtenseur de valve ou du parasurtenseur de pôle peut être pris en compte pour calculer la surtension en condition d'utilisation;

$U_{dc1}$  est la surtension transitoire maximale de la composante continue au niveau de la valve. L'effet de limitation du parasurtenseur de valve ou du parasurtenseur de pôle peut être pris en compte pour calculer la surtension en condition d'utilisation.

$k_{c1}$  est le facteur de dépassement du palier de tension lié au palier de tension de sortie du convertisseur, dans les conditions conformes à celles appliquées pour définir  $U_{ac1}$ . Pour un convertisseur de type MMC ou CTL, le facteur de dépassement du palier de tension est lié au facteur de dépassement d'une cellule ou d'un sous-module;

$k_o$  est le facteur d'échelle d'essai selon 4.3.2;

$k_g$  est le facteur de sécurité d'essai;

$k_g = 1,10$ ;

$f$  est la fréquence d'essai (50 Hz ou 60 Hz selon les installations d'essai).

La tension d'essai de 3 h de la valve  $U_{tv2}$  doit être déterminée conformément aux éléments suivants:

$$U_{tv2} = U_{tac2} + U_{tdc2}$$

$$U_{tac2} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\max\text{-cont}} \cdot \sin(2\pi ft)}{\sqrt{3}} \cdot k_{c2} \cdot k_o \cdot k_{10}$$

$$U_{tdc2} = U_{d\max} \cdot k_o \cdot k_{10}$$

où

$U_{\max\text{-cont}}$  est la tension maximale entre phases en régime permanent sur le système à courant alternatif ou le côté valve du transformateur, si un transformateur de convertisseur est utilisé entre le système à courant alternatif et les convertisseurs;

$U_{d\max}$  est la valeur maximale de la composante continue de la tension de fonctionnement en régime permanent du système à courant continu;

$k_{c2}$  est le facteur de dépassement du palier de tension lié au palier de tension de sortie du convertisseur, dans les conditions conformes à celles appliquées pour définir  $U_{tac2}$ ;

$k_o$  est le facteur d'échelle d'essai selon 4.3.2;

$k_{10}$  est le facteur de sécurité d'essai;

$k_{10} = 1,10$ ;

$f$  est la fréquence d'essai (50 Hz ou 60 Hz selon les installations d'essai).

### 9.3.2 Essais d'impulsion de la valve (généralités)

Ajouter, à la fin du point c), l'expression "et par conséquent, les essais d'impulsion peuvent être omis" pour transformer le point c) comme suit:

c) Si les niveaux de tenue d'impulsion de la valve sont inférieurs ou égaux au niveau d'essai c.a. – c.c. de la valve, l'essai c.a. – c.c. de la valve est supposé pouvoir couvrir les essais d'impulsion et par conséquent, les essais d'impulsion peuvent être omis.

### 9.3.3 Essai d'impulsion de commutation de la valve

Remplacer, dans la deuxième liste des notations " $k_{12} = 1,3$ " par " $k_{12} = 1,15$ ".

### 9.3.4 Essai d'impulsion de foudre de la valve

Remplacer, dans la deuxième liste des notations " $k_{14} = 1,3$ " par " $k_{14} = 1,15$ ".

## 10.1 Objectif de l'essai

Ajouter, à la fin du deuxième alinéa, la nouvelle phrase suivante:

Selon la stratégie de commande et de protection, deux essais ou plus peuvent être exigés afin de reproduire toutes les contraintes appropriées.

Supprimer le quatrième alinéa et la liste à trois puces qui suit.

## 11.1 Objectif des essais

Remplacer le texte existant de ce paragraphe par le nouveau texte suivant:

Le principal objectif consiste à vérifier l'adéquation des dispositifs, notamment des diodes, des composants supplémentaires éventuels utilisés pour protéger les diodes (tels que les thyristors de dérivation) et des circuits électriques associés, par rapport aux contraintes de courant dans des conditions de court-circuit spécifiées, telles qu'une panne produisant un court-circuit du côté courant continu, jusqu'à la coupure du courant de panne par le circuit de commande et de protection. Il convient de concevoir les valves à VSC afin qu'elles résistent à la surintensité de court-circuit pendant le nombre de cycles nécessaires pour ouvrir le disjoncteur à courant alternatif principal, sans aucune défaillance ou aucun endommagement de l'équipement, compte tenu également du fait qu'une tension de rétablissement potentielle peut apparaître. Il convient normalement de réaliser l'essai avec l'électronique de la valve initialement sous tension, à moins que le courant de court-circuit puisse se produire dans les conditions où la valve est mise hors tension (par exemple, en raison du courant d'appel existant lors de la fermeture du disjoncteur du convertisseur au démarrage).

### 11.3 Exigences relatives aux essais

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

Afin de définir l'élévation de la température de jonction maximale des IGBT et des diodes, toutes les conditions de surcharge possibles (en termes d'amplitude et de durée) doivent être prises en considération.

*Insérer, entre 12.3.4 et l'Article 13, un nouvel comme suit:*

## 15 Essais pour les valves à freinage dynamique

Dans certains systèmes CCHT VSC, mais notamment lorsque le système CCHT exporte de l'énergie à partir d'un système à courant alternatif îloté de petites dimensions avec une charge faible ou inexistante (par exemple, un parc éolien en haute mer), il peut être exigé que le système CCHT comporte un système de freinage dynamique, par exemple, sous la forme d'un hacheur connecté aux bornes en courant continu du système VSC. La fonction du système de freinage dynamique consiste à absorber et à dissiper l'énergie générée dans le système à courant alternatif îloté lors de pannes au niveau du système à courant alternatif de réception, généralement pendant des durées de 1 s à 2 s.

Il existe plusieurs méthodes possibles de mise en œuvre de ce type de système de freinage dynamique, mais la conception des valves de ce système est en règle générale identique à celle des valves à VSC principales utilisées pour le transport d'énergie.

Les valves à freinage dynamique peuvent exiger des essais de type, pour lesquels les exigences données dans les Articles 6 à 12 précédents sont généralement applicables; toutefois, les valves à freinage dynamique exigent généralement uniquement un sous-ensemble des essais de type applicables aux valves à VSC.

La valve à freinage dynamique reste normalement dans l'état d'attente, mais est tenue de fonctionner et d'acheminer le courant pendant de courtes durées lorsque le système à courant alternatif de réception subit une panne. Les conditions d'essai diélectrique sont par conséquent similaires à celles applicables à la valve à VSC, mais il est nécessaire d'appliquer les conditions d'essai de fonctionnement uniquement pendant de courtes durées.

## Annexe A – Vue d'ensemble de la topologie des VSC

*Remplacer le titre existant par le nouveau titre suivant:*

### Vue d'ensemble des convertisseurs VSC dans le cadre du transport d'énergie CCHT

## A.2 Caractéristiques élémentaires du VSC

*Remplacer la dernière phrase du premier alinéa, par la nouvelle phrase suivante:*

Le terme «niveau» fait ici référence à un niveau de tension de sortie discret, qu'il convient de ne pas confondre avec le terme «niveau de valve à VSC» qui fait référence à un bloc module physique de la valve, par exemple, à un IGBT individuel et à ses composants associés.

## A.3 Vue d'ensemble des principaux types de valve à VSC

*Supprimer, dans la phrase introductive de la liste, l'expression "ou décrites dans les documents spécialisés".*

*Remplacer, dans la deuxième phrase de la deuxième puce, l'expression "... ne peuvent pas en être séparés ..." par "ne peuvent pas en être séparés aisément ...".*

*Ajouter, à la fin du paragraphe, le nouvel alinéa suivant:*

Certaines autres catégories de valve à VSC "hybride" ont également été décrites dans les ouvrages de référence et présentent des caractéristiques conjointes issues des deux catégories susmentionnées; toutefois, au moment de la rédaction, les travaux de développement dans le domaine de ces topologies sont relativement récents, et ces topologies ne sont pas encore disponibles dans le commerce.

### A.4.1 Généralités

*Remplacer les deux premiers alinéas par ce qui suit:*

Les valves à VSC de ce type sont assez ressemblantes en apparence aux valves à thyristor classiques, en cela qu'elles sont constituées d'un nombre important de dispositifs IGBT connectés en série et commutés simultanément. Comme pour les valves à thyristor classiques, la commutation simultanée des IGBT connectés en série est cruciale. La redondance peut être assurée de la même manière que pour une valve à thyristor LCC, en fournissant quelques dispositifs IGBT supplémentaires connectés en série et en s'assurant que les IGBT sont d'un type spécial en mode de défaillance par court-circuit, ou qu'ils comportent un commutateur de court-circuit connecté en parallèle.

Les valves de ce type sont normalement utilisées avec des convertisseurs présentant un nombre relativement faible de niveaux de sortie. Pour compenser leur faible nombre de niveaux de sortie, ces convertisseurs ont généralement recours à la modulation de largeur d'impulsion (MLI) pour atteindre une approximation correcte de tension de sortie sinusoïdale.

### A.4.2 Convertisseur à 2 niveaux

*Ajouter, après les derniers mots entre parenthèses dans le premier alinéa, l'expression "afin d'empêcher une « reconduction » ou la conduction simultanée de deux valves connectées en série." et transformer la phrase comme suit:*

(En pratique, il existe un léger « chevauchement » ou temps mort entre les deux valves afin d'empêcher une « reconduction » ou la conduction simultanée de deux valves connectées en série.)

## Figure A.5 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur lié à une diode à 3 niveaux

*Remplacer la figure existante par la nouvelle figure suivante:*