

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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



ICS 29.200; 29.240

ISBN 978-2-88910-744-5

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
3.1 Insulation co-ordination terms	7
3.2 Power semiconductor terms	8
3.3 Operating states.....	8
3.3.1 Operating state of an IGBT-diode pair	8
3.3.2 Operating state of converter	9
3.4 VSC construction terms	9
3.5 Valve structure terms	10
4 General requirements	10
4.1 Guidelines for the performance of type tests.....	10
4.1.1 Evidence in lieu	10
4.1.2 Test object	10
4.1.3 Sequence of test	11
4.1.4 Test procedure	11
4.1.5 Ambient temperature for testing.....	11
4.1.6 Frequency for testing.....	11
4.1.7 Test reports.....	11
4.2 Atmospheric correction factor	11
4.3 Treatment of redundancy.....	12
4.3.1 Operational tests	12
4.3.2 Dielectric tests.....	12
4.4 Criteria for successful type testing.....	12
4.4.1 General	12
4.4.2 Criteria applicable to valve levels	13
4.4.3 Criteria applicable to the valve as a whole.....	14
5 List of type tests	14
6 Operational tests.....	14
6.1 Purpose of tests	14
6.2 Test object	15
6.3 Test circuit	15
6.4 Maximum continuous operating duty test.....	15
6.5 Maximum temporary over-load operating duty test.....	16
6.6 Minimum d.c. voltage test.....	16
7 Dielectric tests on valve support structure	17
7.1 Purpose of tests	17
7.2 Test object	17
7.3 Test requirements	17
7.3.1 Valve support d.c. voltage test.....	17
7.3.2 Valve support a.c. voltage test.....	18
7.3.3 Valve support switching impulse test	19
7.3.4 Valve support lightning impulse test	19
8 Dielectric tests on multiple valve unit.....	19
8.1 Purpose of tests	19

8.2	Test object	19
8.3	Test requirements	20
8.3.1	MVU d.c. voltage test to earth	20
8.3.2	MVU a.c. voltage test	20
8.3.3	MVU switching impulse test	21
8.3.4	MVU lightning impulse test	22
9	Dielectric tests between valve terminals	22
9.1	Purpose of the test	22
9.2	Test object	23
9.3	Test requirements	23
9.3.1	Valve a.c. – d.c. voltage test	23
9.3.2	Valve impulse tests (general)	25
9.3.3	Valve switching impulse test	25
9.3.4	Valve lightning impulse test	26
10	IGBT overcurrent turn-off test	26
10.1	Purpose of test	26
10.2	Test object	27
10.3	Test requirements	27
11	Short-circuit current test	27
11.1	Purpose of tests	27
11.2	Test object	27
11.3	Test requirements	27
12	Tests for valve insensitivity to electromagnetic disturbance	28
12.1	Purpose of tests	28
12.2	Test object	28
12.3	Test requirements	28
12.3.1	General	28
12.3.2	Approach one	28
12.3.3	Approach two	29
12.3.4	Acceptance criteria	29
13	Production tests	29
13.1	Purpose of tests	29
13.2	Test object	29
13.3	Test requirements	30
13.4	Production test objectives	30
13.4.1	Visual inspection	30
13.4.2	Connection check	30
13.4.3	Voltage-grading circuit check	30
13.4.4	Control, protection and monitoring circuit checks	30
13.4.5	Voltage withstand check	30
13.4.6	Partial discharge tests	30
13.4.7	Turn-on / turn-off check	30
13.4.8	Pressure test	31
14	Presentation of type test results	31
Annex A (informative)	Overview of VSC topology	32
Annex B (informative)	Fault tolerance capability	40
Bibliography		41

Figure A.1 – A single VSC phase unit and its idealized output voltage	33
Figure A.2 – Output voltage of a VSC phase unit for a 2-level converter	33
Figure A.3 – Output voltage of a VSC phase unit for a 15-level converter, without PWM	34
Figure A.4 – Basic circuit topology of one phase unit of a 2-level converter	35
Figure A.5 – Basic circuit topology of one phase unit of a 3-level diode-clamped converter	36
Figure A.6 – Basic circuit topology of one phase unit of a 5-level diode-clamped converter	36
Figure A.7 – Basic circuit topology of one phase unit of a 3-level flying capacitor converter	37
Figure A.8 – A single VSC phase unit with valves of the “controllable voltage source” type	38
Figure A.9 – One possible implementation of a multi-level “voltage source” VSC valve	38
Table 1 – Minimum number of valve levels to be tested as a function of the number of valve levels per valve.....	11
Table 2 – Valve level faults permitted during type tests.....	13
Table 3 – List of type tests.....	14

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

VOLTAGE SOURCED CONVERTER (VSC) VALVES FOR HIGH-VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) POWER TRANSMISSION – ELECTRICAL TESTING

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 62501 has been prepared by subcommittee 22F: Power electronics for electrical transmission and distribution systems, of IEC technical committee 22: Power electronic systems and equipment.

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

FDIS	Report on voting
22F/185/FDIS	22F/193/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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.

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

VOLTAGE SOURCED CONVERTER (VSC) VALVES FOR HIGH-VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) POWER TRANSMISSION – ELECTRICAL TESTING

1 Scope

This International Standard applies to self-commutated converter valves, for use in a three-phase bridge voltage sourced converter (VSC) for high voltage d.c. power transmission or as part of a back-to-back link. It is restricted to electrical type and production tests.

The tests specified in this standard are based on air insulated valves. For other types of valves, the test requirements and acceptance criteria must be agreed.

2 Normative references

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

IEC 60060 (all parts), *High-voltage test techniques*

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*

IEC 60700-1:1998, *Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 1: Electrical testing*¹⁾

Amendment 1(2003)

Amendment (2008)

ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1 Insulation co-ordination terms

3.1.1

test withstand voltage

value of a test voltage of standard waveshape at which a new valve, with unimpaired integrity, does not show any disruptive discharge and meets all other acceptance criteria specified for the particular test, when subjected to a specified number of applications or a specified duration of the test voltage, under specified conditions

¹⁾ There exists a consolidated edition 1.2 (2008) that comprises IEC 60700-1, Amendment 1 and Amendment 2.

3.1.2

internal insulation

air external to the components and insulating materials of the valve, but contained within the profile of the valve or multiple valve unit

3.1.3

external insulation

air between the external surface of the valve or multiple valve unit and its surroundings.

3.2 Power semiconductor terms

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

3.2.1

insulated gate bipolar transistor

IGBT

a controllable switch with the capability to turn-on and turn-off a load current

An IGBT has three terminals: a gate terminal (G) and two load terminals emitter (E) and collector (C).

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

3.2.2

free-wheeling diode

FWD

power semiconductor device with diode characteristic

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.

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

3.2.3

IGBT-diode pair

arrangement of IGBT and FWD connected in inverse parallel

3.3 Operating states

3.3.1 Operating state of an IGBT-diode pair

3.3.1.1

blocking state

the condition in which an IGBT-diode pair is turned off

In that state, the load current does not flow through the IGBT. However, a load current can flow through the diode as the diode is not controllable.

3.3.1.2

de-blocked state

the condition when the load current flows either through the IGBT or diode of an IGBT-diode pair depending on the load current direction

3.3.2 Operating state of converter

3.3.2.1

blocking state

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

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

3.3.2.2

de-blocked state

a condition of the converter, in which turn-on signals are applied to IGBTs of the converter

3.3.2.3

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

3.4 VSC construction terms

3.4.1

VSC phase unit

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

3.4.2

VSC valve

complete controllable device assembly, which represents a functional unit as part of a VSC phase unit and characterized by switching actions of the power electronic devices upon control signals of the converter base electronics

NOTE Dependent on the converter topology, a valve can either have the function to act like a controllable switch or to act like a controllable voltage source.

3.4.3

diode valve

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

3.4.4

valve

VSC valve or diode valve according to the context

3.4.5

VSC valve level

part of a VSC 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

3.4.6

diode valve level

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

3.4.7

redundant levels

the maximum number of VSC valve levels or diode valve levels in a valve that may be short-circuited externally or internally during service 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

3.5 Valve structure terms

3.5.1

valve structure

physical structure holding the levels of a valve which is insulated to the appropriate voltage above earth potential

3.5.2

valve support

that part of the valve which mechanically supports and electrically insulates the active part of the valve from earth

NOTE A part of a valve which is clearly identifiable in a discrete form to be a valve support may not exist in all designs of valves.

3.5.3

multiple valve unit

MVU

mechanical arrangement of 2 or more valves or 1 or more VSC phase units sharing a common valve support

NOTE A MVU might not exist in all topologies and physical arrangement of converters.

3.5.4

valve section

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

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

electronic unit, at earth potential, which is the interface between the converter control system and the VSC valves

4 General requirements

4.1 Guidelines for the performance of type tests

4.1.1 Evidence in lieu

Each design of valve shall be subjected to the type tests specified in this standard. If the valve is demonstrably similar to one previously tested, the supplier may, in lieu of performing a type test, submit a test report of a previous type test for consideration by the purchaser. This should be accompanied by a separate report detailing the differences in the design and demonstrating how the referenced type test satisfies the test objectives for the proposed design.

4.1.2 Test object

This subclause does not apply to tests on the valve supporting structure and multiple valve unit. The test object for those tests is defined in 7.2 and 8.2.

- a) Type tests may be performed either on a complete valve or, in certain circumstances, on valve sections, as indicated in Table 3.
- b) The minimum number of valve levels to be tested, depending on the valve levels in a single valve, is as shown in Table 1.

Table 1 – Minimum number of valve levels to be tested as a function of the number of valve levels per valve

Number of valve levels per valve	Total number of valve levels to be tested
1 – 50	Number of valve levels in one valve
51 – 250	50
≥ 251	20 %

- c) Generally, the same valve sections are recommended to be used for all type tests. However, with the agreement of the purchaser and supplier, different tests may be performed on different valve sections in parallel, in order to speed up the programme for executing the tests.
- d) Prior to commencement of type tests, the valve, valve sections and/or the components of them should be demonstrated to have withstood the production tests to ensure proper manufacture.

4.1.3 Sequence of test

In order to confirm that the valve terminal-terminal insulation has not been degraded by the fast repetitive switching stresses experienced by the converter in operation, the valve a.c. – d.c. voltage test between terminals with partial discharge measurement should be performed after the operational tests. Other type tests specified can be carried out in any order.

NOTE For valves of the “controllable voltage source” type (Clause A.5), the test sequence, where the a.c. – d.c. voltage test is performed before the operational test, may be acceptable by mutual agreement between the purchaser and supplier.

4.1.4 Test procedure

The tests shall be performed in accordance with IEC 60060, where applicable.

4.1.5 Ambient temperature for testing

The tests shall be performed in accordance with IEC 60060, where applicable.

4.1.6 Frequency for testing

AC dielectric tests can be performed at either 50 Hz or 60 Hz. For operational tests, specific requirements regarding the frequency for testing are given in the relevant clauses.

4.1.7 Test reports

At the completion of the type tests, the supplier shall provide type test reports in accordance with Clause 14.

4.2 Atmospheric correction factor

When specified in the relevant clause, atmospheric correction shall be applied to the test voltages in accordance with IEC 60060-1. The reference conditions to which correction shall be made are the following:

– pressure:

- If the insulation coordination of the tested part of the valve is based on standard rated withstand voltages according to IEC 60071-1, correction factors are only applied for altitudes exceeding 1 000 m. Hence if the altitude of the site a_s at which the equipment will be installed is $\leq 1\,000$ m, then the standard atmospheric air pressure ($b_0 = 101,3$ kPa) shall be used with no correction for altitude. If $a_s > 1\,000$ m, then the standard procedure according to IEC 60060-1 is used except that the reference

atmospheric pressure b_0 is replaced by the atmospheric pressure corresponding to an altitude of 1 000 m (b_{1000m}).

- If the insulation coordination of the tested part of the valve is not based on standard rated withstand voltages according to IEC 60071-1, then the standard procedure according to IEC 60060-1 is used with the reference atmospheric pressure b_0 ($b_0=101,3$ kPa).
- temperature: design maximum valve hall air temperature ($^{\circ}\text{C}$);
- humidity: design minimum valve hall absolute humidity (g/m^3).

The values to be used shall be specified by the supplier.

4.3 Treatment of redundancy

4.3.1 Operational tests

For operational tests, redundant valve levels shall not be short-circuited. The test voltages used shall be adjusted by means of a scaling factor k_n :

$$k_n = \frac{N_{\text{tut}}}{N_t - N_r}$$

where

- N_{tut} is the number of series valve levels in the test object;
- N_t is the total number of series valve levels in the valve;
- N_r is the total number of redundant series valve levels in the valve.

4.3.2 Dielectric tests

For all dielectric tests between valve terminals, the redundant valve levels shall be short-circuited. The location of valve levels to be short-circuited shall be agreed by the purchaser and supplier.

NOTE Depending on the design, limitations may be imposed upon the distribution of short-circuited valve levels. For example, there may be an upper limit to the number of short-circuited valve levels in one valve section.

For all dielectric tests on valve section, the test voltages used shall be adjusted by means of a scaling factor k_o :

$$k_o = \frac{N_{\text{tu}}}{N_t - N_r}$$

where

- N_{tu} is the number of series valve levels not short circuit connected in the test object;
- N_t is the total number of series valve levels in the valve;
- N_r is the total number of redundant series valve levels in the valve.

4.4 Criteria for successful type testing

4.4.1 General

Experience in semiconductor application shows that, even with the most careful design of valves, it is not possible to avoid occasional random failures of valve level components during service operation. Even though these failures may be stress-related, they are considered random to the extent that the cause of failure or the relationship between failure rate and stress cannot be predicted or is not amenable to precise quantitative definition. Type tests

subject valves or valve sections, within a short time, to multiple stresses that generally correspond to the worst stresses that can be experienced by the equipment not more than a few times during the life of the valve. Considering the above, the criteria for successful type testing set out below therefore permit a small number of valve levels to fail during type testing, providing that the failures are rare and do not show any pattern that is indicative of inadequate design.

4.4.2 Criteria applicable to valve levels

Criteria applicable to valve levels are as follows.

- a) If, following a type test as listed in Clause 5, more than one valve level (alternatively more than 1 % of the tested valve levels, if greater) has become short-circuited, then the valve shall be deemed to have failed the type tests.
- b) If, following a type test, one valve level (or more if still within the 1 % limit) has become short-circuited, then the failed level(s) shall be restored and this type test repeated.
- c) If the cumulative number of short-circuited valve levels during all type tests is more than 3 % of the tested valve levels, then the valve shall be deemed to have failed the type test.
- d) The valve or valve sections shall be checked after each type test to determine whether or not any valve levels have become short-circuited. Failed IGBT/diode or auxiliary components found during or at the end of a type test may be replaced before further testing.
- e) At the completion of the test programme, the valve or valve sections shall undergo a series of check tests, which shall include as a minimum.
 - check for voltage withstand of valve levels;
 - check of the gating circuits;
 - check of the monitoring circuits;
 - check of any protection circuits forming an integral part of the valve;
 - check of the voltage grading circuits.
- f) Valve levels short circuits occurring during the check tests shall be counted as part of the criteria for acceptance defined above. In addition to short-circuited levels, the total number of valve levels exhibiting faults which do not result in valve level short circuit, which are discovered during the type test programme and the subsequent check test, shall not exceed 3 % of the number of tested valve levels in dielectric and operational type tests, whichever is lower. If the total 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.
- g) When applying the percentage criteria to determine the permitted maximum number of short-circuited valve levels and the permitted maximum number of levels with faults which have not resulted in a valve level becoming short-circuited, it is usual practice to round off all fractions to the next highest integer, as illustrated in Table 2.

Table 2 – Valve level faults permitted during type tests

Number of valve levels tested	Number of valve levels permitted to become short-circuited in any one type test	Total number of valve levels permitted to become short-circuited in all type tests	Additional number of valve levels, in all type tests, which have experienced a fault but have not become short-circuited
Up to 33	1	1	1
34 to 67	1	2	2
68 to 100	1	3	3
etc.			

The distribution of short-circuited levels and of other valve level faults at the end of all type tests shall be essentially random and not show any pattern that may be indicative of inadequate design.

4.4.3 Criteria applicable to the valve as a whole

Breakdown of or external flashover across common electrical equipment associated with more than one valve level of the valve, or disruptive discharge in dielectric material forming part of the valve structure, cooling ducts, light guides or other insulating parts of the pulse transmission and distribution system shall not be permitted.

Component and conductor surface temperatures, together with associated current-carrying joints and connections, and the temperature of adjacent mounting surfaces shall at all times remain within limits permitted by the design.

5 List of type tests

Table 3 lists the type tests given in Clauses 6 to 12.

Table 3 – List of type tests

Type test	Clause or subclause	Test object
Maximum continuous operating duty test	6.4	Valve or valve section
Maximum temporary over-load operating duty test	6.5	Valve or valve section
Minimum d.c. voltage test	6.6	Valve or valve section
Valve support d.c. voltage test	7.3.1	Valve support
Valve support a.c. voltage test	7.3.2	Valve support
Valve support switching impulse test	7.3.3	Valve support
Valve support lightning impulse test	7.3.4	Valve support
MVU d.c. voltage test to earth	8.3.1	MVU
MVU a.c. voltage test	8.3.2	MVU
MVU switching impulse test	8.3.3	MVU
MVU lightning impulse test	8.3.4	MVU
Valve a.c. – d.c. voltage test	9.3.1	Valve (or valve section if agreed between supplier and purchaser)
Valve switching impulse test	9.3.3	
Valve lightning impulse test	9.3.4	
IGBT overcurrent turn-off test	10	Valve or valve section
Short-circuit current test	11	Valve or valve section
Test for valve insensitivity to electromagnetic disturbance	12	Valve (or valve section if agreed between supplier and purchaser)

6 Operational tests

6.1 Purpose of tests

The principal objectives of the operational tests are:

- to check the adequacy of the VSC/diode level and associated electrical circuits in a valve with regard to current, voltage and temperature stresses in the conducting state, at turn-on and turn-off under the worst repetitive stress conditions;

- b) to demonstrate correct interaction between valve electronics and power circuits of the VSC valves.

6.2 Test object

The tests may be performed on either the complete valve or on valve sections. The choice depends mainly upon the valve design and the test facilities available. The tests specified in this clause are valid for valve sections containing five or more series-connected VSC/diode levels. If tests with fewer than five levels are proposed, additional test safety factors shall be agreed. Under no circumstances shall the number of series-connected levels for tests be less than three.

The valve or valve sections under test shall be assembled with all auxiliary components. When required, a proportionally scaled valve arrester shall be included. The arrester shall be scaled to the number of series-connected levels under test to give a protective level which corresponds at least to the maximum characteristic of the service arrester.

The coolant shall be in a condition representative of service conditions. Flow and temperature, in particular, shall be set to the most unfavourable values appropriate to the test in question, such that the relevant component temperature(s) are equal to the values applicable in service.

6.3 Test circuit

For valve designs which act as a controllable voltage source and contain in-built d.c. capacitance, the d.c. capacitance and its connections to the semiconductor devices are an integral part of the test object.

However, for valve designs which function as switches, where the d.c. capacitor is separate from the valve, the d.c. capacitor needs to be correctly represented in the test circuit. In particular, the series-stray inductance in the connections between the d.c. capacitor and the valve, and the stray capacitance across the valve section, shall be correctly reproduced and scaled to the size of valve section under test. Test circuit interconnections shall be of a type that is representative of the type used in the converter, in order not to introduce unrealistic levels of damping due to skin effects.

6.4 Maximum continuous operating duty test

The test needs to reproduce the following parameters based on the worst in service operating conditions of the converter. More than one test may be necessary to reproduce all parameters at their maximum values.

For VSC valves:

- maximum continuous IGBT junction temperatures;
- maximum continuous FWD junction temperatures;
- maximum continuous snubber component temperatures;
- maximum continuous turn-on and turn-off voltage and current.

For diode valves:

- maximum continuous diode junction temperature;
- maximum continuous snubber component temperatures;
- maximum continuous diode turn-off voltage and current.

All of these parameters need to be reproduced during the maximum continuous operating duty test. They may be reproduced either in separate tests or as a combined test.

The test voltage shall be based on the maximum continuous direct voltage, the test switching frequency shall be based on the maximum continuous switching frequency and the modulation pattern shall be representative of that used in service. The coolant temperature shall be not less than that which will give the highest steady-state IGBT junction and/or Diode junction temperatures in service.

The test current, in r.m.s. value, shall incorporate a test safety factor of 1,05.

The test voltage U_{tpv1} corresponding to the maximum continuous operating d.c. voltage shall be determined as follows:

$$U_{tpv1} = U_{dmax} \cdot k_n \cdot k_1$$

where

U_{dmax} is the maximum continuous operating d.c. voltage, including ripple;

k_n is a test scaling factor according to 4.3.1;

k_1 is a test safety factor;

$k_1 = 1,05$.

The duration of the test shall be not less than 30 min after the exit coolant temperature has stabilized.

6.5 Maximum temporary over-load operating duty test

If the valve is specified for temporary over-load operation, a maximum temporary operating duty test shall be performed.

The test conditions, where required, shall be determined using the same methodology as in 6.4 above.

Prior to the test, the valve or valve section shall be brought to thermal equilibrium under the conditions of 6.4. The temporary operating duty test is then started from this initial condition and continued for a duration equal to the duration of the temporary overload multiplied by 1,2.

After the temporary over-load operation duty test, 10 min maximum continuous operating duty test shall be performed.

6.6 Minimum d.c. voltage test

This test is to verify the correct performance of those valve designs in which energy for the valve electronic circuits is extracted from the voltage appearing between the valve terminals.

The test consists of applying a d.c. voltage between the terminals of the valve or valve section. For this test, only the voltage, not the current, is important.

The correct operation of the valve electronic circuits may be demonstrated either by deblocking the valve or valve section, or by remaining in the blocked state and monitoring the databack signals from the valve electronics.

The test voltage U_{min} is defined as:

$$U_{min} = \frac{N_{tut}}{N_t} \cdot U_W \cdot k_2$$

where

U_W is the lowest d.c. voltage across one valve in service operation where proper function of the valve electronics is require;

N_{tut} is the number of series-connected VSC levels under test;

N_t is the total number of series-connected VSC levels in a single valve, including redundancy;

k_2 is a test safety factor;

$k_2 = 0,95$.

The duration of test shall be not less than 10 min.

7 Dielectric tests on valve support structure

7.1 Purpose of tests

The principal objectives of these tests are:

- a) to verify the voltage withstand capability of the insulation of the valve support, cooling ducts, light guides and other insulating components associated with the valve support. If there is insulation to earth other than the valve support, then additional tests may be necessary;
- b) to verify that the partial discharge inception and extinction voltages are above the maximum operating voltage appearing on the valve support.

NOTE Depending upon the application, it may be possible to eliminate some of the tests on the valve support, subject to agreement between purchaser and supplier.

7.2 Test object

The valve support to be used for the tests may be a representative separate object including representation of the adjacent parts of the valve, or may form part of the assembly used for single valve or multiple valve unit tests. It shall be assembled with all ancillary components in place and shall have the adjacent earth potential surfaces properly represented. The coolant shall be in a condition representative of the most onerous service condition for the purpose of the test.

If a single valve consists of more than one structure such that there is more than one valve support structure per valve, then it shall be demonstrated that the tests proposed cover the worst stresses experienced by any of the valve support structures.

7.3 Test requirements

All test levels below are subject to atmospheric correction as described in 4.2.

7.3.1 Valve support d.c. voltage test

The two main terminals of the valve shall be connected together and the d.c. 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 in approximately 10 s, kept constant for 1 min, reduced to the specified 3 h test voltage, kept constant for 3 h and then reduced to zero. During the last hour of the specified 3 h test, the number of partial discharges exceeding 300 pC shall be recorded as described in Annex B of IEC 60700-1.

The number of pulses exceeding 300 pC shall not exceed 15 pulses per minute, averaged over the recording 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 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, the valve support shall be short-circuited and earthed for a minimum of 2 h.

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

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

where

U_{dmS} 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;

$k_3 = 1,6$ for the 1 min test;

$k_3 = 1,1$ for the 3 h test;

k_t is the atmospheric correction factor;

k_t is the value according to 4.2 for the 1 min test;

$k_t = 1,0$ for the 3 h test.

7.3.2 Valve support a.c. voltage test

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 U_{tas1} within approximately 10 s, kept constant for 1 min, reduced to the specified 30 min test voltage U_{tas2} , kept constant for 30 min and then reduced to zero. During the last 1 min of specified 30 min test, the level of partial discharge shall be monitored and recorded. 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.

The r.m.s. value of the valve support a.c. test voltage U_{tas} shall be determined in accordance with the following:

$$U_{tas} = \frac{U_{mS}}{\sqrt{2}} \cdot k_r \cdot k_4 \cdot k_t$$

where

U_{mS} is the peak value of the maximum repetitive operating voltage across the valve support during steady-state operation, including switching overshoot;

U_{tas1} is the 1 min test voltage;

U_{tas2} is the 30 min test voltage;

k_4 is a test safety factor;

$k_4 = 1,3$ for the 1 min test;

$k_4 = 1,15$ for the 30 min test;

k_t is the atmospheric correction factor;

k_t is the value according to 4.2 for the 1 min test;

$k_t = 1,0$ for the 30 min test;

k_r is the temporary overvoltage factor;

k_r is the value determined from system studies for the 1 min test;
 $k_r = 1,0$ for the 30 min test.

7.3.3 Valve support switching impulse test

The test shall comprise three applications of positive polarity and three applications of negative polarity switching impulse voltages between the main terminals of the valve (connected together) and earth.

A standard switching impulse voltage wave shape in accordance with IEC 60060 shall be used.

The test voltage shall be selected in accordance with the insulation co-ordination of the VSC substation.

7.3.4 Valve support lightning impulse test

The test shall comprise three applications of positive polarity and three applications of negative polarity lightning impulse voltages between the main terminals of the valve (connected together) and earth.

A standard lightning impulse voltage wave shape in accordance with IEC 60060 shall be used.

The test voltage shall be selected in accordance with the insulation co-ordination of the VSC substation.

8 Dielectric tests on multiple valve unit

This clause is only applicable if more than one valve is installed in a common valve structure (multiple valve unit). In the case where each individual valve is mounted in a dedicated valve structure, this clause is not applicable.

8.1 Purpose of tests

The principal objectives of these tests are:

- a) to verify the voltage withstand capability of the external insulation of the MVU, with respect to its surroundings, especially for the valve(s) connected at pole potential;
- b) to verify the voltage withstand capability between single valves in a MVU structure;
- c) to verify that the partial discharge levels are within specified limits.

8.2 Test object

There are many possible arrangements of valves and multiple valve units. The test object(s) shall be chosen to reflect, as accurately as possible, the service configuration of valves insofar as is necessary for the test in question. The test object shall be fully equipped unless it can be shown that some components can be simulated or omitted without reducing the significance of the results.

Individual valves may have to be short-circuited depending on the configuration of the MVU and the objectives of the test.

When the low-voltage terminal of the MVU is not connected to earth potential, care shall be taken to suitably terminate the low voltage terminal of the MVU during tests to correctly simulate the voltage appearing at this terminal. Earth planes shall be used, whose separation shall be determined by the proximity of other valves and earth potential surfaces.

8.3 Test requirements

8.3.1 MVU d.c. voltage test to earth

The d.c. test voltage shall be applied between the highest potential d.c. terminal of the MVU 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 in approximately 10 s, kept constant for 1 min, reduced to the specified 3 h test voltage, kept constant for 3 h and then reduced to zero.

During the last hour of the specified 3 h test, the number of partial discharges exceeding 300 pC shall be recorded.

The number of pulses exceeding 300 pC shall not exceed 15 pulses per minute, averaged over the recording 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 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, the MVU terminals shall be short-circuited together and earthed for a minimum of 2 h.

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

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

where

U_{dmm} 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;

$k_5 = 1,6$ for the 1 min test;

$k_5 = 1,1$ for the 3 h test;

k_t is the atmospheric correction factor;

k_t is the value according to 4.2 for the 1 min test;

$k_t = 1,0$ for the 3 h test.

8.3.2 MVU a.c. voltage test

If a MVU experiences a.c. or composite a.c. plus d.c. voltage stresses between any two terminals, the withstand capability of which is not adequately demonstrated by other tests, then it will be necessary to perform an a.c. voltage test between these terminals of the MVU.

To perform the test, the test voltage source shall be connected to the pair of MVU terminals in question. The point of earth connection is dependent on the test circuit arrangement.

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

During the specified 30 min test, the level of partial discharge shall be monitored and recorded. 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.

The r.m.s. value of the MVU a.c. test voltage U_{tam} shall be determined in accordance with the following:

$$U_{tam} = \frac{U_{mm}}{\sqrt{2}} \cdot k_r \cdot k_6 \cdot k_t$$

where

U_{mm} is the peak value of the maximum repetitive operating voltage appearing between the terminals of the MVU during steady-state operation, including switching overshoot;

k_6 is a test safety factor;

$k_6 = 1,3$ for the 1 min test;

$k_6 = 1,15$ for the 30 min test;

k_r is the temporary overvoltage factor;

k_r is the value determined from system studies for the 1 min test;

$k_r = 1,0$ for the 30 min test;

k_t is the atmospheric correction factor;

k_t is the value according to 4.2 for the 1 min test;

$k_t = 1,0$ for the 30 min test.

8.3.3 MVU switching impulse test

A standard switching impulse voltage waveshape in accordance with IEC 60060 shall be used.

The MVU switching impulse test voltage shall be applied between the high voltage terminal of the MVU and earth.

The test shall comprise three applications of positive polarity and three applications of negative polarity switching impulse voltage of a specified amplitude.

The MVU switching impulse test voltage U_{tsm} shall be determined in accordance with the following:

$$U_{tsm} = \pm SIPL_m \cdot k_7 \cdot k_t$$

where

$SIPL_m$ is the switching impulse protective level determined by insulation co-ordination taking into account the arrester(s) connected between the MVU high voltage terminal and earth;

k_7 is a test safety factor;

$k_7 = 1,10$;

k_t is the atmospheric correction factor;

k_t is the value according to 4.2.

If the test prescribed above does not adequately test the switching impulse withstand between all terminals of the MVU, then consideration shall be given to performing extra tests to check the insulation.

NOTE Subject to agreement between the purchaser and supplier, the MVU switching impulse test need not be performed if it can be shown by other means that:

- a) the external air clearances to other valves and to earth are adequate for the switching impulse voltage withstand level required, and
- b) the switching impulse withstand between any two terminals of the MVU is adequately demonstrated by other tests.

8.3.4 MVU lightning impulse test

A standard lightning impulse voltage wave shape in accordance with IEC 60060 shall be used.

The MVU lightning impulse test voltage shall be applied between the high voltage terminal of the MVU and earth.

The test shall comprise three applications of positive polarity and three applications of negative polarity lightning impulse voltage of specified amplitude.

The MVU lightning impulse test voltage U_{tlim} shall be determined in accordance with the following:

$$U_{tlim} = \pm LIPL_m \cdot k_8 \cdot k_t$$

where

$LIPL_m$ is the lightning impulse protective level determined by insulation co-ordination, taking into account the arrester(s) connected between the MVU high voltage terminal and earth;

k_8 is a test safety factor;

$k_8 = 1,10$;

k_t is the atmospheric correction factor;

k_t is the value according to 4.2.

If it cannot be demonstrated that the test prescribed above adequately tests the lightning impulse withstand voltage between all terminals of the MVU, then consideration shall be given to performing extra tests to check this insulation.

NOTE Subject to agreement between the purchaser and supplier, the MVU lightning impulse test need not be performed if it can be shown by other means that:

- a) the external air clearances to other valves and to earth are adequate for the lightning impulse voltage withstand level required, and
- b) the lightning impulse withstand voltage between any two terminals of the MVU is adequately demonstrated by other tests.

9 Dielectric tests between valve terminals

9.1 Purpose of the test

These tests are intended to verify the design of the valve regarding its voltage-related characteristics for various types of overvoltages (d.c., a.c., switching impulse and lightning impulse overvoltages). The tests should demonstrate that:

- a) the valve will withstand the specified overvoltages;
- b) partial discharges will be within specified limits under specified test conditions;
- c) the internal voltage grading circuits have sufficient power rating;
- d) the valve electronic circuits behave as expected.

It should be noted that the tests described in this clause are based on standard wave shapes and standard test procedures as developed for the testing of high-voltage a.c. systems and components. This approach offers great advantages to the industry because it allows much of the existing technology of high-voltage testing to be carried over to the qualification of HVDC valves. On the other hand, it must be recognized that a particular HVDC application may result in wave shapes different from the standards and, in this case, the test may be modified so as to realistically reflect expected conditions.

9.2 Test object

The test object should generally be a complete valve. Tests on individual valve sections are acceptable if the supplier can demonstrate that the voltage distribution between valve sections, under test conditions, is representative of the voltage distribution within a complete valve in service. The test valve or valve section shall be assembled with all auxiliary components except for the valve surge arrester. The valve may form part of a multiple valve unit.

For all impulse tests, the valve electronics shall be energized unless otherwise specified.

If valve section is used as test object, the minimum number of valve levels in the test section should be agreed by the purchaser. In such cases, additional tests to verify the insulation between different parts of the complete valve may be needed and shall be agreed between purchaser and supplier.

The coolant shall be in a condition that represents service conditions except for flow rate which can be reduced. If any object external to the structure is necessary for proper representation of the stresses during tests, it shall be included or simulated in the test. Earth planes shall be used, whose separation shall be determined by the proximity of other adjacent valves and earth potential surfaces.

The test object used for the valve dielectric tests will normally not permit the application of atmospheric correction to the specified test voltages without overstressing the internal components. For this reason, no atmospheric correction factor is applied to any of the dielectric tests between valve terminals. The supplier shall demonstrate that the effects of atmospheric conditions on the valve internal withstand have been allowed for adequately.

9.3 Test requirements

9.3.1 Valve a.c. – d.c. voltage test

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.

The worst case will depend upon the valve design. The cases to be considered include, but are not limited to, the following:

- a.c. terminal short circuit to ground;
- a.c. terminal short circuit between phases;
- a.c. terminal open circuit;
- a.c. system load-rejection;
- short circuit across or misfiring of another valve in the same phase unit;
- d.c. pole earth fault to ground.

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 ramped up to the specified 10 s test level within approximately 10 s, reduced to the specified 30 min test voltage, kept constant for 30 min and then reduced to zero.

The peak value of the periodic partial discharge recorded during the last minute of 30 min test shall be less than 200 pC, provided that the components which are sensitive to partial discharge in the valve have been separately tested. 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 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 2 It may be necessary to disable gate units or other auxiliary circuits in this test in order to prevent interference with partial discharge measurement, for example, from gate unit power supply circuits.

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:

$$U_{tv1} = (U_{ac1} \cdot \sin(2\pi ft) + U_{dc1}) \cdot k_0 \cdot k_9$$

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_0 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 30 min test voltage U_{tv2} shall be determined in accordance with the following:

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

$$U_{tac2} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\max\text{-cont}} \cdot \sin(2\pi ft)}{\sqrt{3}} \cdot k_0 \cdot k_{10}$$

$$U_{tdc2} = U_{d\max} \cdot k_0 \cdot k_{10}$$

$U_{\max\text{-cont}}$ 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_0 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).

NOTE 3 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.

9.3.2 Valve impulse tests (general)

The following should be taken into account during valve impulse tests.

- For some applications, for instance no overhead line is present in d.c. side and the busbar between phase reactor and valves is completely protected against direct lightning strike in a.c. side or in topologies, where the valve acts as a controllable voltage source with its own inbuilt d.c. capacitance, the valve impulse tests are less important since the valves don't see impulses at an amplitude which could be decisive in the electric performance of valves. Impulse tests in such applications can be omitted.
- The impulse test will be applied only in one polarity which corresponds to the polarity of valve withstand voltage.
- 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.

9.3.3 Valve switching impulse test

A standard switching impulse voltage waveshape in accordance with IEC 60060 shall be used.

The test shall comprise three applications of switching impulse voltages of specified amplitude on the valve.

The valve switching impulse test withstand voltage U_{tsv} shall be determined in accordance with the following.

- Valve with valve arrester protection:

$$U_{tsv} = SIPL_v \cdot k_o \cdot k_{11}$$

where

$SIPL_v$ is the switching impulse protective level of the valve arrester;

k_o is a test scaling factor according to 4.3.2;

k_{11} is a test safety factor;

$k_{11} = 1,10.$

- Valve without valve arrester protection:

This test is intended to verify the valve insulation when the valve is not directly protected by surge arresters.

$$U_{tsv} = U_{cms} \cdot k_o \cdot k_{12}$$

where

U_{cms} is the switching impulse prospective voltage across valve terminals according to system insulation coordination studies;

k_o is a test scaling factor according to 4.3.2;

k_{12} is a test safety factor;

$k_{12} = 1,3.$

The valve shall withstand the test voltage without switching or insulation breakdown.

9.3.4 Valve lightning impulse test

A standard lightning impulse voltage waveshape in accordance with IEC 60060 shall be used.

The test shall comprise three applications of impulse voltages of specified amplitude on the valve.

The valve lightning impulse withstand voltage U_{tlv} shall be determined in accordance with the following.

- Valve with valve surge arrester protection:

$$U_{tlv} = LIPL_v \cdot k_o \cdot k_{13}$$

where

$LIPL_v$ is the lightning impulse protective level of the valve arrester;

k_o is a test scaling factor according to 4.3.2;

k_{13} is a test safety factor;

$k_{13} = 1, 10$.

- Valve without valve surge arrester protection:

This test is intended to verify the valve insulation when the valve is not directly protected by surge arresters.

$$U_{tlv} = U_{cml} \cdot k_o \cdot k_{14}$$

where

U_{cml} is the lightning impulse prospective voltage across valve terminals according to system insulation coordination studies;

k_o is a test scaling factor according to 4.3.2;

k_{14} is a test safety factor;

$k_{14} = 1, 3$.

The valve shall withstand the test voltage without switching or insulation breakdown.

10 IGBT overcurrent turn-off test

10.1 Purpose of test

The principal objective is to check the adequacy of the VSC valve design, especially the IGBT, and the associated electrical circuits with regard to current and voltage stresses at turn-off in the event of certain short circuit faults or misfiring events.

The test shall replicate the worst combination of voltage stress and instantaneous junction temperature, based on conditions that represent the most unfavourable tolerance settings of the monitoring/protection circuits.

General requirements related to the test circuit and the representation of d.c. capacitor, loop stray inductance, etc. are as stated in 6.3.

The worst case will depend upon the valve design but the cases to be considered include, but are not limited to, the following:

- a.c. terminal short circuit to ground;
- a.c. terminal short circuit between phases;
- short circuit across or misfiring of another valve in the same phase unit.

10.2 Test object

As described in 6.2. However, it shall also be necessary to represent certain protection or monitoring circuits if these are essential for the detection of an overcurrent event.

10.3 Test requirements

The test consists of operating the test object to thermal equilibrium under the conditions which lead to the highest steady-state junction temperature of the relevant IGBT (see 6.4) and then initiating an overcurrent event. The control and protection system then detects the overcurrent and suppresses the overcurrent by turning off the IGBTs at a current below the maximum safe turn-off limit.

The test voltage U_{tpv2} corresponding to the maximum temporary d.c. over-voltage shall be determined as follows:

$$U_{tpv2} = U_{dtemp} \cdot k_n \cdot k_{15}$$

where

U_{dtemp} is the maximum temporary d.c. over-voltage, including ripple;

k_n is a test scaling factor according to 4.3.1;

k_{15} is a test safety factor;

$k_{15} = 1,05$.

The test current waveform in the time interval between detection of the overcurrent and the instant of turn-off of the IGBTs should be representative of the service condition, particularly in terms of current rate-of-rise di/dt.

11 Short-circuit current test

11.1 Purpose of tests

The principal objective is to check the adequacy of the devices, especially the diodes, 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. Energization of converter valve should also be considered.

11.2 Test object

As described in 6.2.

11.3 Test requirements

The test consists of operating the test object to thermal equilibrium under the conditions which lead to the highest steady-state junction temperature of the relevant semiconductor component (see 6.4) and then initiating a fault current event.

The fault current amplitude, duration and the number of cycles should be the maximum values expected in the actual field operation. No test safety factor is applied to the current.

Where the test object experiences a recovery voltage between cycles of fault current, then this recovery voltage, including commutation overshoot where applicable, shall also be reproduced during the test. A test safety factor of 1,05 is applied to the recovery voltage.

12 Tests for valve insensitivity to electromagnetic disturbance

12.1 Purpose of tests

The principal objective is to demonstrate the insensitivity of the valve to electromagnetic interference (electromagnetic disturbance) arising from voltage and current transients generated within the valve and imposed on it from the outside. The sensitive elements of the valve are generally electronic circuits used for controlling, protection and monitoring of the valve levels.

Generally, the valve insensitivity to electromagnetic disturbance can be checked by monitoring the valve during other type tests. Of these, the valve and the valve maximum continuous operating duty test and maximum temporary overload operating duty test (see 6.4 and 6.5), the valve impulse test (see 9.3.3 and 9.3.4) and the IGBT overcurrent turn-off test (see Clause 10) are the most important.

The tests shall demonstrate that:

- a) out-of-sequence or spurious switching of IGBT does not occur;
- b) the electronic protection circuits installed in the valve operate as intended;
- c) false indication of valve level faults or erroneous signals sent to the converter control and protection systems by the valve base electronics, arising from receipt of false data from the valve monitoring circuits, does not occur.

NOTE For this standard, tests to demonstrate valve insensitivity to electromagnetic disturbance apply only to the VSC valve and that part of the signal transmission system that connects the valve to earth. Demonstration of the insensitivity to electromagnetic disturbance of equipment located at earth potential and characterization of the valve as a source of electromagnetic disturbance for other equipment are not within the scope of this standard.

12.2 Test object

Generally, the test object is the valve or valve sections as used for other tests.

When insensitivity to electromagnetic disturbance arising from coupling between adjacent valves in a MVU is to be demonstrated, two approaches are acceptable as defined in 12.3. In this case, the test object will be a separate valve or valve section according to the approach adopted.

12.3 Test requirements

12.3.1 General

When demonstrating insensitivity to electromagnetic disturbance arising from coupling between adjacent valves of a MVU, the test requirements depend on which of the two recommended approaches is adopted.

NOTE The specific geometric arrangement to be used and the magnitude of the forward voltage for the electromagnetic disturbance test object should be agreed, based on the design of MVU.

12.3.2 Approach one

Approach one is to simulate the source of electromagnetic disturbance directly as part of a test set-up. Such a test set-up will require more than one valve or valve section in order to check for interaction between them. The geometric arrangements of the source of the electromagnetic disturbance with respect to the valve under test shall be as close as possible to the service arrangement (or worse from an electromagnetic disturbance point of view). The

electronics of the electromagnetic disturbance test object shall be energized. Those parts of the valve base electronics that are necessary for the proper exchange of information with the electromagnetic disturbance test object shall be included.

12.3.3 Approach two

Approach two is to determine the intensity of electromagnetic fields under worst operational conditions, either from theoretical considerations or by measurements. In a second step, these fields are simulated by a test circuit which generates correct (or worse) electromagnetic radiation at the respective frequencies. A valve section is then exposed to the fields generated by the test source.

An essential prerequisite to approach two is the determination of the dynamic field strength and direction at key locations in the valve. This can generally be obtained from search coil measurements taken during firing tests on a single valve. Alternatively, the field can be predicted from three-dimensional field modelling programs. A valve section shall then be tested using a separate field coil to produce field intensity, frequency content and direction which is at least as severe as the predicted values.

The following conditions for the valve section under test shall be met:

- the valve section shall have operational voltage (proportionally scaled) between its terminals and be forward biased at the time of energization of the field coil;
- the electronics of the valve section under test shall be energized;
- those parts of the valve base electronics that are necessary for the proper exchange of information with the valve section shall be included.

12.3.4 Acceptance criteria

The criteria for acceptance for both approaches one and two shall be as defined in 12.1.

13 Production tests

This clause covers tests on assemblies of components that are parts of valves, valve sections, or auxiliary circuits for their protection, control and monitoring. It does not cover tests on individual components that are used within the valve, the valve support, or valve structure.

13.1 Purpose of tests

The purpose of the production tests is to verify proper manufacture by demonstrating that:

- all components and subassemblies used in the valve have been correctly installed in accordance with the design;
- the valve equipment functions as intended and predefined parameters are within prescribed acceptance limits;
- the valve sections and IGBT-diode pair levels (as appropriate) have adequate voltage withstand capability;
- consistency and uniformity in production is achieved.

13.2 Test object

All valve sections or parts thereof manufactured for the project shall be subjected to the routine production tests. The tests may be performed on valve sections or individual levels as appropriate to the design and available test facilities.

13.3 Test requirements

Uniformity in the specified production tests of different suppliers is unnecessary. The production tests shall take into account the special design characteristics of the valve and its components, the extent to which the components are tested prior to assembly, and the particular manufacturing procedures and techniques are involved. In this clause, only production test objectives are given.

In all cases, the supplier shall submit, for approval by the purchaser, a detailed description of the test procedures proposed to meet the production test objectives.

The minimum requirements for routine production tests are listed in 13.4. The order in which the tests are listed implies neither ranking of importance nor the order in which the tests should be performed.

NOTE In some cases, it may be necessary to perform production sample tests on complete assemblies in addition to the routine tests, for example when modifications are introduced in the course of production. The nature and extent of such additional tests should be agreed on a case-by-case basis.

13.4 Production test objectives

13.4.1 Visual inspection

To check that all materials and components are undamaged and are correctly installed in accordance with the latest approved revision of the production documentation.

13.4.2 Connection check

To check that all the main current-carrying connections have been made correctly.

13.4.3 Voltage-grading circuit check

To check the grading circuit parameters and thereby ensure that voltage division between series-connected levels will be correct for applied voltages from d.c. to impulse waveshapes, if applicable.

13.4.4 Control, protection and monitoring circuit checks

To check the function of any control, protection or monitoring circuits that form an integral part of the valve, such as IGBT gate drive circuits and any local protection or monitoring circuits.

If type tests and tests of the effectiveness of fuse protection are considered to be necessary, they shall be specified separately with conditions for tests.

13.4.5 Voltage withstand check

To check that the valve components can withstand the voltage corresponding to the maximum value specified for the valve. The checks shall include a.c. – d.c. test voltage and switching impulse as applicable.

13.4.6 Partial discharge tests

To demonstrate correct manufacture, the purchaser and supplier shall agree which components and subassemblies are critical to the design, and appropriate partial discharge tests shall be performed.

13.4.7 Turn-on / turn-off check

To check that the IGBT(s) in each valve level turns on and turn off correctly in response to switching commands.

13.4.8 Pressure test

To check that there are no coolant leaks.

14 Presentation of type test results

The test report shall be issued in accordance with the general guidelines as given in ISO/IEC 17025, and shall include the following information:

- name and address of the laboratory and location where the tests were carried out;
- name and address of the purchaser;
- unambiguous identification of the test object, including type and ratings, serial number and any other information aimed to identify the test object;
- dates of performance of the tests;
- description of test circuits and test procedures used for the performance of the tests;
- reference to the normative documents and clear description of deviations, if any, from procedures stated in the normative documents;
- description of measuring equipment and statement of the measuring uncertainty;
- test results in the form of tables, graphs, oscillograms, and photographs as appropriate;
- description of equipment or component failure.

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

Annex A (informative)

Overview of VSC topology

A.1 General

Voltage sourced converter (VSC) valves are an emerging technology, in which different manufacturers may have substantially different technological approaches and where, in the future, there may be new circuit topologies that have not yet been described.

Voltage sourced converters for HVDC differ fundamentally from conventional HVDC converters (which are current-sourced converters) in that in order to reverse the direction of power flow, it is the direction of direct current, not the polarity of direct voltage, that is reversed. Smoothing of the direct voltage is performed by a large d.c. capacitor, which plays an analogous role to the d.c. inductor (which may partly be fulfilled by the inductance of the d.c. transmission system and the leakage inductance of the converter transformers) in a conventional HVDC project.

In fact, in a great many respects, the role of voltage in a VSC valve is equivalent to that of current in a conventional HVDC thyristor valve, and vice-versa.

A detailed treatment of all possible VSC valve technologies is far beyond the scope of this standard. The purpose of this annex is simply to present a brief overview of the main differences between VSC and conventional HVDC thyristor valves, and of the main types of VSC valve, insofar as they affect the criteria for testing such valves.

This annex is intended to give an overview of the main converter technologies known at the time of writing. However, it is not intended to limit or constrain in any way the types of technology that can be utilized.

A.2 VSC basics

All voltage sourced converters aim to synthesize, from the d.c. capacitor voltage, an approximately sinusoidal voltage at the a.c. terminals. However, in practice, the output voltage of the VSC cannot be perfectly sinusoidal but instead consists of a number of discrete steps of voltage, or “output levels”. 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 an individual IGBT and associated components.

For power systems, 3-phase converters are almost always used, but in considering the number of output levels of a converter, each “phase unit” of the converter is normally considered independently. The number of output levels refers to the number of discrete states in which the line-to-neutral output voltage of a phase unit can exist (Figure A.1). It is important to note that an n -level converter will have $(2n-1)$ possible values of line-to-line voltage.

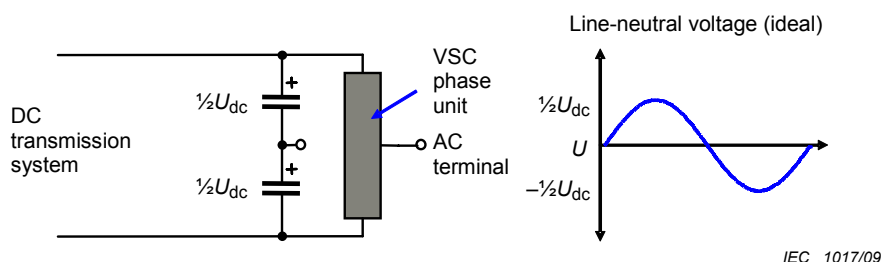


Figure A.1 – A single VSC phase unit and its idealized output voltage

In the simplest possible VSC topology, the “two-level converter”, the a.c. output voltage of each phase arm (with respect to the midpoint of the d.c. capacitor, which is normally earthed) has only two possible states: $+\frac{1}{2}U_{dc}$ and $-\frac{1}{2}U_{dc}$.

If the VSC valves in this phase arm are switched only at fundamental frequency, the resulting a.c. output voltage waveform is an extremely poor approximation to sinusoidal. Such a waveform would be totally unacceptable in a power system.

However, by switching the valves ON and OFF more than once per fundamental frequency cycle and employing pulse width modulation (PWM) it is possible to obtain an output voltage that is, after filtering, reasonably sinusoidal. Figure A.2 illustrates both cases.

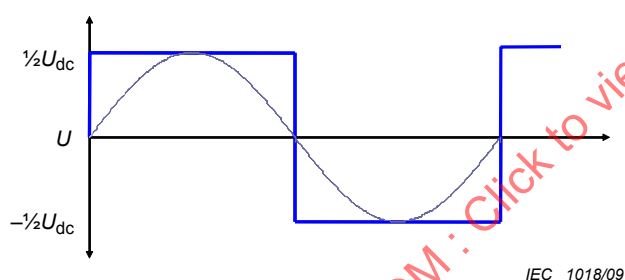


Figure A.2a – Without PWM

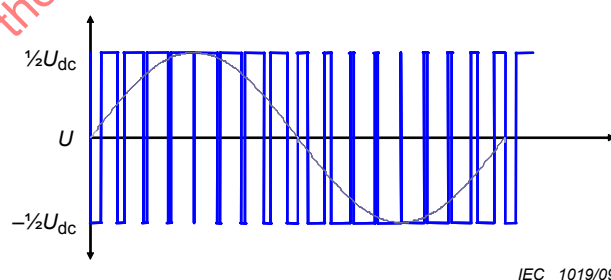


Figure A.2b – With PWM

Figure A.2 – Output voltage of a VSC phase unit for a 2-level converter

PWM is an established technique in converters for motor drives, but carries the disadvantage of much increased switching losses.

An alternative to PWM is to use a more complex converter with a higher number of output levels – a “multi-level converter”. There are a number of 3-level or 5-level converter topologies available, but in a power system application these too will generally still require PWM in order to obtain sufficiently low harmonics.

However, there are some converter topologies that are capable of producing much higher numbers of output levels, such that even without using PWM, the output voltage waveform is highly sinusoidal and little or no filtering is required. Figure A.3 shows the output voltage of a 15-level converter, which can be seen to be reasonably sinusoidal. In practice, higher numbers of levels than 15 would normally be used for HVDC transmission applications.

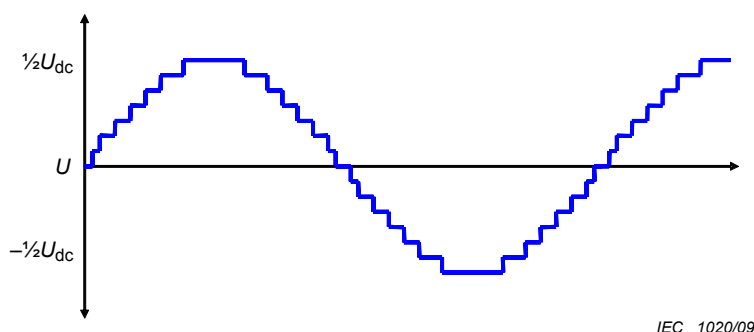


Figure A.3 – Output voltage of a VSC phase unit for a 15-level converter, without PWM

A.3 Overview of main types of VSC valve

Unlike conventional HVDC thyristor valves, which have evolved towards a largely common overall design, VSC valves are at an early stage in their technological evolution and exist in a number of forms.

At the time of writing of this standard, the VSC valves that are available commercially or have been described in literature fall into two basic categories.

- VSC valves of the “switch” type. These valves, like their thyristor counterparts, function only as a controllable switch, with only two permanent states: ON and OFF. In converters based on this topology, the d.c. capacitors are completely separated from the valves and can be tested in isolation.
- VSC valves of the “controllable voltage source” type. In valves of this type, the d.c. capacitors form an integral part of the valve and cannot be separated from it for testing purposes.

Certain type tests need to be performed in a quite different way depending on which of the above categories the valve falls into.

A.4 VSC valves of the “switch” type

A.4.1 General

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. As with conventional thyristor valves, simultaneous switching of the series-connected IGBTs is vital. 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.

Some of the more common converter topologies that can be used with this type of VSC valve are described below.

A.4.2 2-level converter

In this, the simplest type of VSC, each VSC phase unit comprises just two VSC valves connected in series and sharing an a.c. terminal. The two valves are switched alternately

such that, at any given time, either one or the other valve is conducting, but never both. (In practice, there is usually a slight dead-time or “underlap” between the two valves).

The circuit topology of this converter is very simple (see Figure A.4) and requires very little explanation. When V1 is conducting, the a.c. terminal is connected to the upper d.c. terminal and therefore produces an output voltage of $+\frac{1}{2}U_{dc}$. When V2 is conducting, the a.c. terminal is connected to the lower d.c. terminal and therefore produces an output voltage of $-\frac{1}{2}U_{dc}$.

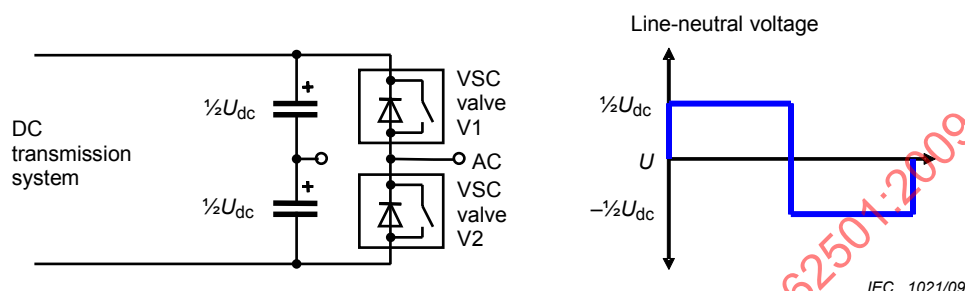


Figure A.4 – Basic circuit topology of one phase unit of a 2-level converter

A.4.3 Multi-level diode clamped converter

In this family of converters, the d.c. capacitor is sub-divided into a number of discrete stages connected in series, more than two IGBT valves are provided per phase unit and diode valves are used to connect between various intermediate points in the d.c. capacitor and in the phase unit.

In the simplest version of this circuit (see Figure A.5), the three-level converter, each phase unit contains four independent VSC valves connected in series. The d.c. capacitor is subdivided into two series-connected units (as it frequently is for a 2-level converter). The a.c. terminal is connected to the terminal between V2 and V3, and the $\frac{1}{4}$ and $\frac{3}{4}$ points (between valves V1/V2 and V3/V4) are connected to the d.c. midpoint via diode valves.

With this converter, three output states are possible from a single phase unit. When valves V1+V2 are conducting, the a.c. terminal is connected to the upper d.c. terminal and therefore produces an output voltage of $+\frac{1}{2}U_{dc}$. When valves V3+V4 are conducting, the a.c. terminal is connected to the lower d.c. terminal and therefore produces an output voltage of $-\frac{1}{2}U_{dc}$. When valves V2+V3 are conducting, the a.c. output voltage is “clamped” at the d.c. midpoint voltage by the diode valves.

The same principle can be extended to higher numbers of levels by further subdividing the d.c. capacitor and using more VSC and diode valves. In a 5-level converter, the d.c. capacitor is subdivided into four discrete stages, and there are eight VSC valves and six diode valves (see Figure A.6). In this circuit, the valves are switched in adjacent groups of four, for example V1+V2+V3+V4 gives an output voltage of $+\frac{1}{2}U_{dc}$, V2+V3+V4+V5 gives an output voltage of $+\frac{1}{4}U_{dc}$, etc.

It can be seen that as the number of output levels increases, the complexity of the circuit increases disproportionately. This is made worse by the fact that not only the number, but also the voltage rating of the diode valves increases rapidly with the number of output levels.

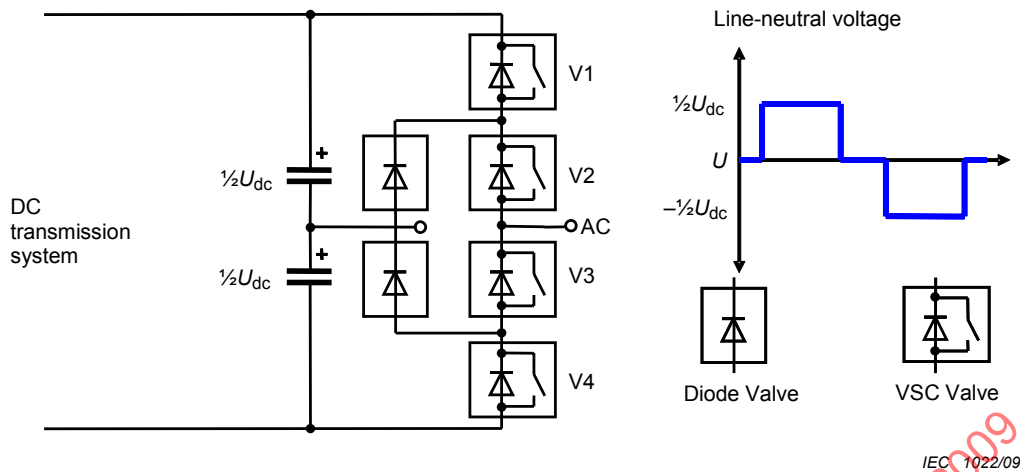


Figure A.5 – Basic circuit topology of one phase unit of a 3-level diode-clamped converter

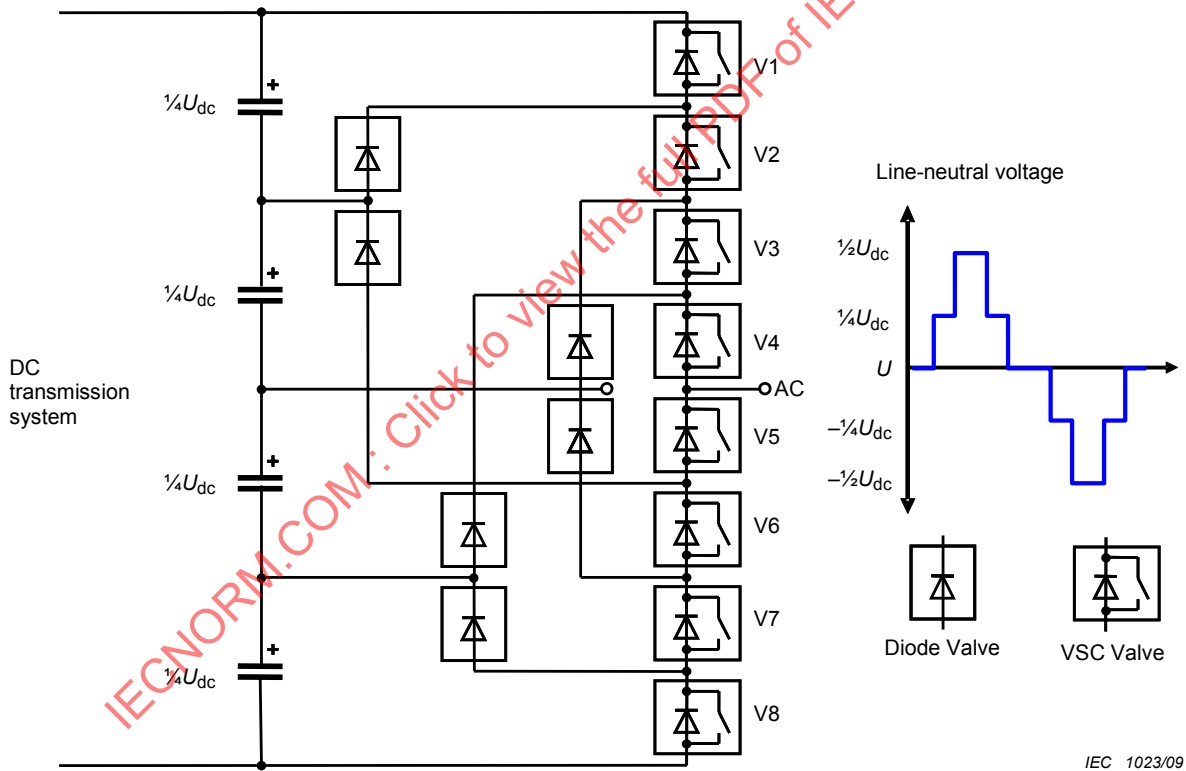


Figure A.6 – Basic circuit topology of one phase unit of a 5-level diode-clamped converter

A.4.4 Multi-level flying capacitor converter

This circuit achieves the same result as the diode-clamped converter by a different method. Instead of using diode valves to clamp the output voltage to one of the intermediate d.c. capacitor stages, it uses one or more additional d.c. capacitors, which are isolated from the d.c. terminals and hence “floating” or “flying”, to achieve the same effect. This circuit is sometimes also referred to as the “Foch-Meynard” circuit after its inventors.

The 3-level flying capacitor converter (see Figure A.7) has a single flying capacitor with a nominal voltage of $\frac{1}{2}U_{dc}$. This capacitor is connected between the terminals shared by V1/V2 and those shared by V3/V4. As with the 3-level diode-clamped converter, valves are switched in pairs but the pattern to achieve zero output voltage is different. To achieve an output state of 0, either valves V1+V3 or valves V2+V4 are switched on. V2+V3 is an illegal combination as it would short-circuit the flying capacitor.

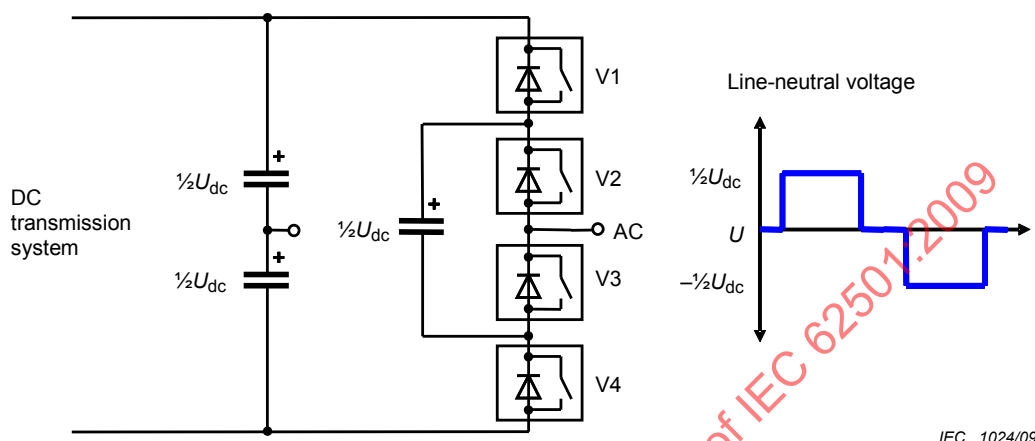


Figure A.7 – Basic circuit topology of one phase unit of a 3-level flying capacitor converter

The number of VSC valves per phase unit is the same for this converter as it is for a diode-clamped converter with the same number of output levels. Like the diode-clamped converter, higher numbers of output levels are possible, but at the expense of disproportionately increased complexity.

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

In the 2-level converter, the valves and d.c. capacitor are clearly separated items of equipment and can be designed and tested in isolation. However, as the number of output levels increases, it is seen from Subclause A.4.3 and A.4.4 that the d.c. capacitor(s) become increasingly subdivided and the valves and d.c. capacitor become increasingly inter-dependent.

As the converter starts to approach the ideal, where the number of output levels is sufficient to obtain a good approximation to a sinusoidal waveform without using PWM, the subdivision of the d.c. capacitor and the interconnectivity between capacitors and IGBTs can become so complex that it is no longer practical to make a clear distinction between the two. In such cases, it may be more convenient to consider the “VSC valve” to be not simply the IGBT elements that perform the switching, but also the distributed d.c. capacitors. In effect, such a valve is no longer simply a switch but is now a controllable voltage source, connected between the a.c. terminal of the corresponding phase unit, and one of the d.c. terminals (see Figure A.8).

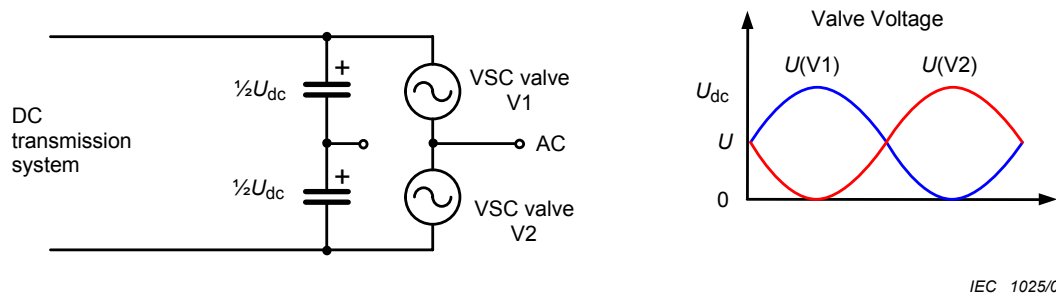


Figure A.8 – A single VSC phase unit with valves of the “controllable voltage source” type

Each of the valves V1 and V2 in the phase unit produces a unipolar output voltage approximating to a fully offset sinusoidal waveform with extremes of $U=0$ and $U=U_{dc}$. 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 one such implementation is that shown in Figure A.9. This circuit is modular, each module 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 modules are made from the a.c. terminal (between IGBT1 and IGBT2) of one module, to one of the d.c. terminals of the neighbouring module. With this circuit, each module can produce two discrete output states: $U=0$ (obtained by switching IGBT2 on) or $U=U_{dc_module}$ (obtained by switching IGBT1 on). U_{dc_module} is the d.c. link voltage of a single module, which is much less than U_{dc} , the d.c. link voltage of the complete system.

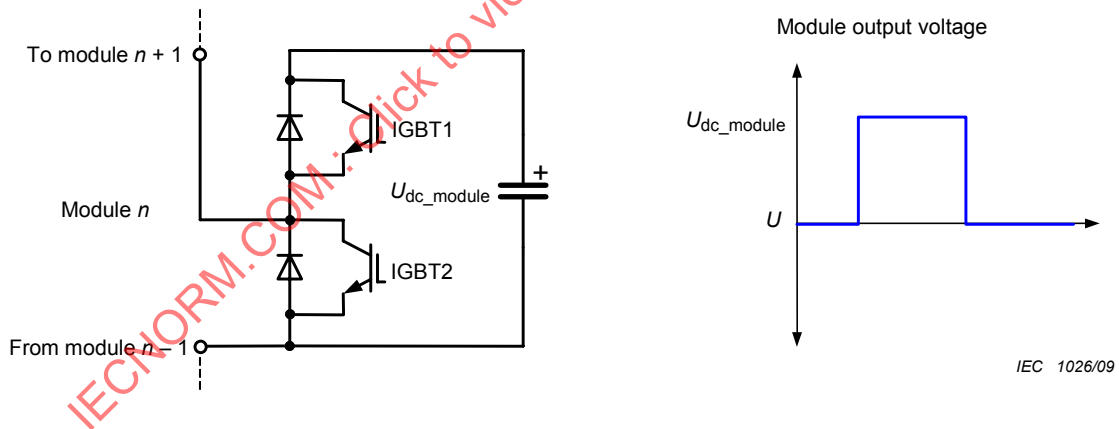


Figure A.9 – One possible implementation of a multi-level “voltage source” VSC valve

Since the 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). 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.6 Main differences between VSC and conventional HVDC valves

VSC valves differ from conventional thyristor-based HVDC valves in many respects. It is important to appreciate these differences in order to understand the differences in approach that need to be taken when testing such valves.

Whilst there are a great many differences, the principal ones that affect valve testing are as follows.

- VSC valves are capable of both being turned ON and being turned OFF by control action. In contrast, conventional HVDC thyristor valves can only be turned ON by control action and, to achieve turn OFF, require the external circuit to force the current to zero and then apply a period of reverse voltage. Hence, tests to demonstrate minimum extinction angles or positive voltage transients during the recovery interval (which are so important for thyristor valves), have no significance for VSC valves.
- In VSC valves, the valve is not capable of supporting reverse voltage (because it contains in-built freewheel diodes), but can conduct reverse current. In conventional HVDC thyristor valves, the valve can withstand reverse voltage but not conduct reverse current.
- In VSC valves, protective turn-ON is generally not used because of the risk of creating a short-circuit across the d.c. capacitor, but instead protective turn-OFF is employed as a means of suppressing overcurrents. By contrast, in conventional HVDC thyristor valves, protective turn-ON is widely used and protective turn-OFF is not possible.
- The large d.c.-side capacitance means that there are few circumstances where a VSC phase unit can experience fast voltage transients between terminals. In valves of the “controllable voltage source” type (where some of the d.c. capacitance is embedded within the valve) the same is also true for voltages between the terminals of the valve.

Annex B (informative)

Fault tolerance capability

Fault tolerance capability may be defined as the ability of an HVDC VSC valve to perform its intended function, until a scheduled shutdown, with faulted components or subsystems or overloaded components, and not lead to any unacceptable failure of other components, or extension of the damage due to the faulted condition. Special features may be required in the design to ensure fault tolerance. Examples of faults for which fault tolerance may be required are given below.

a) Short circuit of an IGBT or diode

Even though a short-circuit IGBT or diode will shunt the other components at the valve level, in some designs there may be a danger of overloading gate driving circuits, overload of current connections (where parallel IGBT or diode are used), or changes in clamping load.

b) Missing of on-gate at one valve level due to loss of normal on-gate pulses to that level

Missing of on-gate leads to parallel overvoltage of the components at the affected level.

c) Insulation failure of a snubber capacitor, snubber resistor or other components if applicable

Insulation failure of any component in parallel with the IGBTs or diodes can attract load current into it, leading to a hazardous condition.

d) Leakage of small quantities of valve coolant

If the valve is liquid cooled, small leaks may not be easily detected. Escaped coolant can contaminate sensitive components, leading to malfunction, and can increase the probability of insulation failure.

The purchaser should review the design offered with the supplier to determine the probability and likely consequences of certain failures. Where appropriate, consideration should be given, in the type test programme, to the performance of special tests to verify critical aspects of the fault tolerance capability of the valve. The details of such tests are subject to agreement on a case-by-case basis.

Bibliography

IEC 60146-2:1999, *Semiconductor converters – Part 2: Self-commutated semiconductor converters including direct d.c. converters*

IEC PAS 61975:2004, *System tests for high-voltage direct current (HVDC) installations*

CIGRÉ B4-WG37 technical report, *VSC Transmission*

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	45
1 Domaine d'application	47
2 Références normatives	47
3 Termes et définitions	47
3.1 Termes relatifs à la coordination de l'isolement	47
3.2 Termes relatifs au semi-conducteur de puissance	48
3.3 États de fonctionnement	48
3.3.1 État de fonctionnement d'une paire IGBT-diode	48
3.3.2 État de fonctionnement d'un convertisseur	49
3.4 Termes relatifs à la construction du VSC	49
3.5 Termes relatifs à la structure de la valve	50
4 Exigences générales	50
4.1 Lignes directrices pour l'exécution des essais de type	50
4.1.1 Autres éléments pouvant faire office de preuve	50
4.1.2 Objet d'essai	51
4.1.3 Séquence d'essai	51
4.1.4 Procédure d'essai	51
4.1.5 Température ambiante pour les essais	51
4.1.6 Fréquence des essais	51
4.1.7 Rapports d'essai	52
4.2 Facteur de correction atmosphérique	52
4.3 Traitement de la redondance	52
4.3.1 Essais de fonctionnement	52
4.3.2 Essais diélectriques	52
4.4 Critères pour des essais de type réussis	53
4.4.1 Généralités	53
4.4.2 Critères applicables aux niveaux de valve	53
4.4.3 Critères applicables à l'ensemble de la valve	54
5 Liste des essais de type	54
6 Essais de fonctionnement	55
6.1 Objectif des essais	55
6.2 Objet d'essai	55
6.3 Circuit d'essai	56
6.4 Essai de contrainte en fonctionnement continu maximal	56
6.5 Essai de contrainte en fonctionnement en surcharge temporaire maximale	57
6.6 Essai de tension c.c. minimale	57
7 Essais diélectriques sur la structure de support de valve	58
7.1 Objectif des essais	58
7.2 Objet d'essai	58
7.3 Exigences relatives aux essais	58
7.3.1 Essai de tension c.c. du support de valve	58
7.3.2 Essai de tension c.a. du support de valve	59
7.3.3 Essai d'impulsion de commutation de support de valve	60
7.3.4 Essai d'impulsion de foudre du support de valve	60
8 Essais diélectriques sur une unité de valves multiples	60
8.1 Objectif des essais	60

8.2	Objet d'essai	60
8.3	Exigences relatives aux essais	61
8.3.1	Essai de tension c.c. de la MVU à la terre	61
8.3.2	Essai de tension c.a. de la MVU	61
8.3.3	Essai d'impulsion de commutation de la MVU	62
8.3.4	Essai d'impulsion de foudre de la MVU	63
9	Essais diélectriques entre les bornes de la valve	64
9.1	Objectif de l'essai	64
9.2	Objet d'essai	64
9.3	Exigences relatives aux essais	65
9.3.1	Essai de tension c.a. – c.c. de la valve	65
9.3.2	Essais d'impulsion de la valve (généralités)	66
9.3.3	Essai d'impulsion de commutation de la valve	67
9.3.4	Essai d'impulsion de foudre de la valve	67
10	Essai de mise hors tension de l'IGBT en cas de surintensité	68
10.1	Objectif de l'essai	68
10.2	Objet d'essai	68
10.3	Exigences relatives à l'essai	68
11	Essai de courant de court-circuit	69
11.1	Objectif des essais	69
11.2	Objet d'essai	69
11.3	Exigences relatives aux essais	69
12	Essai d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques	69
12.1	Objectif des essais	69
12.2	Objet d'essai	70
12.3	Exigences relatives aux essais	70
12.3.1	Généralités	70
12.3.2	Première approche	70
12.3.3	Deuxième approche	70
12.3.4	Critères d'acceptation	71
13	Essais de production	71
13.1	Objectif des essais	71
13.2	Objet d'essai	71
13.3	Exigences relatives aux essais	72
13.4	Objectifs des essais de production	72
13.4.1	Examen visuel	72
13.4.2	Vérification de la connexion	72
13.4.3	Vérification du circuit d'évaluation de la tension	72
13.4.4	Vérification des circuits de commande, de protection et de surveillance	72
13.4.5	Vérification de la tenue en tension	72
13.4.6	Essais de décharge partielle	72
13.4.7	Vérification de la mise sous / hors tension	73
13.4.8	Essais de pression	73
14	Présentation des résultats d'essais de type	73
	Annexe A (informative) Vue d'ensemble de la topologie des VSC	74
	Annexe B (informative) Capacité de tolérance aux pannes	82
	Bibliographie	83

Figure A.1 – Une unité de phase VSC unique et sa tension de sortie idéale.....	75
Figure A.2 – Tension de sortie d'une unité de phase VSC pour un convertisseur à 2 niveaux.....	75
Figure A.3 – Tension de sortie d'une unité de phase VSC pour un convertisseur à 15 niveaux, sans MLI.....	76
Figure A.4 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur à 2 niveaux.....	77
Figure A.5 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur lié à une diode à 3 niveaux.....	78
Figure A.6 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur lié à une diode à 5 niveaux.....	78
Figure A.7 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur à condensateur volant à 3 niveaux.....	79
Figure A.8 – Une unité de phase VSC unique avec des valves du type «source de tension commandable».....	80
Figure A.9 – Une mise en œuvre possible d'une valve à VSC « à source de tension » multi-niveaux.....	80
Tableau 1 – Nombre minimal de niveaux de valve à essayer en fonction du nombre de niveaux de valve par valve.....	51
Tableau 2 – Pannes de niveau de valve autorisées au cours des essais de type.....	54
Tableau 3 – Liste des essais de type.....	55

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

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

VALVES À CONVERTISSEUR DE SOURCE DE TENSION (VSC) POUR LE TRANSPORT D'ÉNERGIE EN COURANT CONTINU À HAUTE TENSION (CCHT) – ESSAIS ÉLECTRIQUES

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La CEI 62501 a été établie par le sous-comité 22F: Electronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution, du comité d'études 22 de la CEI: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
22F/185/FDIS	22F/193/RVD

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

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI 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.

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

VALVES À CONVERTISSEUR DE SOURCE DE TENSION (VSC) POUR LE TRANSPORT D'ÉNERGIE EN COURANT CONTINU À HAUTE TENSION (CCHT) – ESSAIS ÉLECTRIQUES

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale s'applique aux valves à convertisseur autocommuté, conçues pour être utilisées dans un convertisseur de source de tension (VSC, valve sourced converter en anglais) en pont triphasé pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension ou en tant qu'élément d'une liaison dos-à-dos. Elle se limite aux essais de type électrique et de production.

Les essais spécifiés dans la présente norme sont établis à partir de valves dans l'air. Pour les autres types de valves, il faut que les exigences relatives aux essais et les critères d'acceptation fassent l'objet d'un accord.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence (y compris les éventuels amendements) s'applique.

CEI 60060 (toutes les parties), *Techniques des essais à haute tension*

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

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

CEI 60700-1:1998, *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 1: Essais électriques*¹⁾

Amendement 1(2003)

Amendement (2008)

ISO/CEI 17025, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1 Termes relatifs à la coordination de l'isolement

3.1.1

tension de tenue d'essai

valeur d'une tension d'essai de forme d'onde normalisée pour laquelle une valve neuve, dont l'intégrité est intacte, n'indique aucune décharge disruptive et satisfait à l'ensemble des

¹⁾ Il existe une édition consolidée 1.2 (2008) comprenant la CEI 60700-1, l'Amendement 1 et l'Amendement 2.

critères d'acceptation spécifiés pour cet essai particulier, lorsqu'elle est soumise à un nombre spécifié d'applications ou à une durée spécifiée de tension d'essai, dans des conditions spécifiées

3.1.2

isolement interne

air extérieur aux composants et aux matériaux d'isolement de la valve mais contenu dans le profil de la valve ou dans l'unité de valve multiple

3.1.3

isolement externe

air situé entre la surface externe de la valve ou de l'unité de valve multiple et son environnement

3.2 Termes relatifs au semi-conducteur de puissance

Il existe de quelques types de dispositifs de commutation à semi-conducteur commandables pouvant 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 de commutation à semi-conducteur commandable. Cependant, la norme s'applique également aux autres types de dispositifs de commutation à semi-conducteur commandables.

3.2.1

transistor bipolaire à grille isolée

IGBT (*insulated gate bipolar transistor* en anglais)

commutateur commandable permettant de réactiver ou de couper un courant de charge

Un IGBT possède trois bornes: une borne de grille (G) et deux bornes de charge: émetteur (E) et collecteur (C).

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.

3.2.2

diode de roue libre

DRL

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

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.

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

3.2.3

paire diode-IGBT

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

3.3 États de fonctionnement

3.3.1 État de fonctionnement d'une paire IGBT-diode

3.3.1.1

état de blocage

situation dans laquelle une paire IGBT-diode est hors tension

Dans cet état, le courant de charge ne circule pas à travers l'IGBT. Cependant, un courant de charge peut circuler à travers la diode dans la mesure où la diode n'est pas commandable.

3.3.1.2**état débloqué**

condition lorsque le courant de charge circule soit à travers l'IGBT soit à travers la diode d'une paire IGBT-diode, selon la direction du courant de charge

3.3.2 État de fonctionnement d'un convertisseur**3.3.2.1****état de blocage**

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

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

3.3.2.2**état débloqué**

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

3.3.2.3**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

3.4 Termes relatifs à la construction du VSC**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**

ensemble complet d'un dispositif commandable, représentant une unité fonctionnelle en tant que partie d'une unité de phase du VSC, caractérisée par des actions de commutation des dispositifs électroniques de puissance en fonction des signaux de commande électroniques du convertisseur

NOTE Selon la topologie du convertisseur, une valve peut avoir pour fonction de jouer le rôle soit d'un commutateur commandable soit d'une source de tension commandable.

3.4.3**valve à diode**

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

3.4.4**valve**

valve à VSC ou à diode selon le contexte

3.4.5**niveau de valve à VSC**

partie d'une valve à VSC 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, condensateur de stockage, le cas échéant

3.4.6

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

3.4.7

niveaux redondants

nombre maximal de niveaux de valve à VSC ou de niveaux de valve à diode dans une valve, qui peut supporter un court-circuit externe ou interne au cours de l'utilisation 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

3.5 Termes relatifs à la structure de la valve

3.5.1

structure de la valve

structure physique maintenant les niveaux d'une valve et qui est isolée à la tension appropriée supérieure au potentiel de terre

3.5.2

support de valve

partie de la valve qui soutient mécaniquement et isole électriquement de la terre la partie active de la valve

NOTE Une partie de valve clairement identifiable sous une forme discrète comme étant un support de valve n'est pas nécessairement présente sur tous les modèles de valves.

3.5.3

unité de valve multiple

MVU (*multiple valve unit* en anglais)

disposition mécanique comportant au moins deux valves ou une ou plusieurs unités de phase à VSC partageant un support de valve commun

NOTE Toutes les topologies et la disposition physique des convertisseurs ne disposent pas nécessairement d'une MVU.

3.5.4

section de valve

assemblage électrique défini à des fins d'essais, comportant un certain nombre de niveaux de valve à VSC ou à diode et d'autres composants, et présentant les propriétés électriques assignées d'une valve complète

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

unité électronique, au potentiel de terre, qui constitue l'interface entre le système de commande du convertisseur et les valves à VSC

4 Exigences générales

4.1 Lignes directrices pour l'exécution des essais de type

4.1.1 Autres éléments pouvant faire office de preuve

Chaque conception de valve doit être soumise aux essais de type spécifiés dans la présente norme. S'il est démontré que la valve est identique à l'une des valves essayées

précédemment, le fournisseur peut, au lieu de réaliser un essai de type, soumettre le rapport d'essai d'un essai de type précédent à l'examen du client. Il convient que ce rapport soit accompagné d'un deuxième rapport détaillant les différences de conception et démontrant que l'essai de type de référence satisfait aux objectifs d'essai pour la conception proposée.

4.1.2 Objet d'essai

Le présent paragraphe ne s'applique pas aux essais sur la structure de support de la valve ni sur l'unité de valve multiple. L'objet d'essai pour ces essais est défini en 7.2 et en 8.2.

- a) Les essais de type peuvent être réalisés soit sur une valve complète soit, dans certaines circonstances, sur des sections de valve, comme indiqué au Tableau 3.
- b) Le nombre minimal de niveaux de valve à essayer, en fonction des niveaux de valve dans une valve unique, est comme indiqué au Tableau 1.

Tableau 1 – Nombre minimal de niveaux de valve à essayer en fonction du nombre de niveaux de valve par valve

Nombre de niveaux de valve par valve	Nombre total de niveaux de valve à soumettre à essai
1 – 50	Nombre de niveaux de valve dans une valve
51 – 250	50
≥ 251	20 %

- c) Il est généralement recommandé d'utiliser les mêmes sections de valves pour tous les essais de type. Cependant, avec l'accord du fournisseur et de l'acheteur, différents essais peuvent être réalisés sur différentes sections de valve en parallèle, afin d'accélérer le programme d'exécution des essais.
- d) Avant le début des essais de type, il convient de démontrer que la valve, les sections et/ou les composants de valves ont résisté aux essais de production pour garantir une fabrication appropriée.

4.1.3 Séquence d'essai

Afin de confirmer que l'isolement borne à borne de la valve n'a pas été endommagé par les contraintes de commutation répétitives rapides subies par le convertisseur en fonctionnement, il est recommandé que l'essai de tension c.a. – c.c. de la valve entre les bornes avec mesurage de la décharge partielle soit effectué après les essais de fonctionnement. Les autres essais de type spécifiés peuvent être réalisés dans n'importe quel ordre.

NOTE Pour les valves à VSC du type « à source de tension commandable » (Article A.5), la séquence d'essai, où l'essai de tension c.a. – c.c. est effectué avant l'essai de fonctionnement, peut être acceptée par accord mutuel entre le client et le fournisseur.

4.1.4 Procédure d'essai

Les essais doivent être effectués conformément à la CEI 60060, le cas échéant.

4.1.5 Température ambiante pour les essais

Les essais doivent être effectués conformément à la CEI 60060, le cas échéant.

4.1.6 Fréquence des essais

Les essais diélectriques c.a. peuvent être effectués soit à 50 Hz soit à 60 Hz. Pour les essais de fonctionnement, des exigences spécifiques relatives à la fréquence des essais sont indiquées aux articles correspondants.

4.1.7 Rapports d'essai

À la fin des essais de type, le fournisseur doit produire des rapports d'essais de type conformément à l'Article 14.

4.2 Facteur de correction atmosphérique

Quand elle est spécifiée dans l'article concerné, la correction atmosphérique doit être appliquée aux tensions d'essai conformément à la CEI 60060-1. Les conditions de référence dans lesquelles la correction doit être effectuée sont les suivantes:

- pression:
 - Si la coordination de l'isolement de la partie essayée de la valve est établie sur les tensions de tenue assignées normalisées conformément à la CEI 60071-1, les facteurs de correction s'appliquent uniquement aux altitudes supérieures à 1 000 m. C'est pourquoi si l'altitude du site a_s à laquelle l'équipement sera installé est $\leq 1\,000$ m, la pression d'air atmosphérique normalisée ($b_0=101,3$ kPa) doit alors être utilisée sans correction relative à l'altitude. Si $a_s > 1\,000$ m, la procédure normalisée conformément à la CEI 60060-1 est utilisée, mais la pression atmosphérique de référence b_0 est remplacée par la pression atmosphérique correspondant à une altitude de 1 000 m (b_{1000m}).
 - Si la coordination de l'isolement de la partie essayée de la valve n'est pas établie sur les tensions de tenue assignées normalisées conformément à la CEI 60071-1, la procédure normalisée conformément à la CEI 60060-1 est utilisée avec la pression atmosphérique de référence b_0 ($b_0=101,3$ kPa).
- température: température de l'air maximale théorique dans une armoire de redresseur de valve (°C);
- humidité: humidité absolue minimale théorique d'une armoire de redresseur de valve (g/m^3).

Les valeurs à utiliser doivent être spécifiées par le fournisseur.

4.3 Traitement de la redondance

4.3.1 Essais de fonctionnement

Pour les essais de fonctionnement, les niveaux de valve redondants ne doivent pas subir de court-circuit. Les tensions d'essai utilisées doivent être réglées à l'aide d'un facteur d'échelle k_n :

$$k_n = \frac{N_{\text{tut}}}{N_t - N_r}$$

où

N_{tut} est le nombre de niveaux de valve de série dans l'objet d'essai;

N_t est le nombre total de niveaux de valve de série dans la valve;

N_r est le nombre total de niveaux de valve de série redondants dans la valve.

4.3.2 Essais diélectriques

Pour tous les essais diélectriques entre les bornes de la valve, les niveaux de valve redondants doivent subir un court-circuit. La localisation des niveaux de valve devant subir un court-circuit doit faire l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur.

NOTE En fonction de la conception, des limites peuvent être imposées à la distribution de niveaux de valves court-circuitées. Par exemple, il peut exister une limite supérieure au nombre de niveaux de valves court-circuitées dans une section de valve.

Pour tous les essais diélectriques sur section de valve, les tensions d'essai utilisées doivent être réglées à l'aide d'un facteur d'échelle k_o :

$$k_o = \frac{N_{tu}}{N_t - N_r}$$

où

N_{tu} est le nombre de niveaux de valve de série non court-circuités connectés dans l'objet d'essai;

N_t est le nombre total de niveaux de valve de série dans la valve;

N_r est le nombre total de niveaux de valve de série redondants dans la valve.

4.4 Critères pour des essais de type réussis

4.4.1 Généralités

Concernant les applications de semi-conducteur, l'expérience montre que, même avec la conception de valves la plus soignée, il n'est pas possible d'éviter des dysfonctionnements aléatoires ponctuels de composants de niveau de valve lors du fonctionnement de service. Même si ces dysfonctionnements peuvent être liés à la contrainte, ils sont considérés comme aléatoires dans la mesure où leur cause ou la relation entre le taux de dysfonctionnement et la contrainte ne peut être ni prévue ni régulée pour correspondre à une définition quantitative précise. Les valves ou sections de valves sont soumises à des essais de type, pendant une période de temps courte, aux contraintes multiples qui correspondent généralement aux pires contraintes pouvant être expérimentées par l'équipement tout au plus un petit nombre de fois au cours de la durée de vie de la valve. En tenant compte des éléments précédents, les critères nécessaires à des essais de type réussis définis ci-dessous permettent donc à un petit nombre de niveaux de valve de présenter un dysfonctionnement au cours des essais de type, à condition que les dysfonctionnements soient rares et ne révèlent pas de défaut de conception.

4.4.2 Critères applicables aux niveaux de valve

Les critères applicables aux niveaux de valve sont les suivants.

- a) Si, à la suite d'un essai de type tel qu'indiqué à l'Article 5, plus d'un niveau de valve (ou bien, plus de 1 % des niveaux de valve essayés, si supérieur) a subi un court-circuit, la valve doit être jugée comme ayant échoué aux essais de type.
- b) Si, à la suite d'un essai de type, un niveau de valve (ou plus s'il se situe toujours dans la limite de 1 %) a subi un court-circuit, le ou les niveaux défaillants doivent être rétablis et cet essai de type, répété.
- c) Si la somme des niveaux de valve court-circuités au cours de tous les essais de type est supérieure à 3 % des niveaux de valve essayés, la valve doit être jugée comme ayant échoué aux essais de type.
- d) La valve ou les sections de valve doivent être vérifiées après chaque essai de type pour déterminer si un ou plusieurs niveaux de valve ont subi un court-circuit. Une paire IGBT/diode ou des composants auxiliaires défaillants, identifiés pendant ou à la fin d'un essai de type peuvent être remplacés avant un essai ultérieur.
- e) A la fin du programme d'essai, la valve ou les sections de valve doivent subir une série d'essais de vérification, qui doivent comprendre au moins:
 - une vérification de la tension de tenue des niveaux de valve;
 - une vérification des circuits de déclenchement;
 - une vérification des circuits de surveillance;
 - une vérification de tous les circuits de protection faisant partie intégrante de la valve;
 - une vérification des circuits d'évaluation de la tension.

- f) Les courts-circuits de niveaux de valve se produisant au cours des essais de vérification doivent être comptés en tant qu'éléments des critères d'acceptation définis ci-dessus. En plus des niveaux court-circuités, le nombre total de niveaux de valve présentant des pannes ne produisant pas de court-circuit de niveau de valve, découverts au cours du programme d'essai de type et de l'essai de vérification qui le suit, ne doit pas dépasser 3 % du nombre de niveaux de valve essayés lors des essais de types diélectriques et de fonctionnement, la valeur la plus faible étant retenue. Si le nombre total 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.
- g) Lors de l'application des critères de pourcentage pour déterminer le nombre maximal autorisé de niveaux de valve court-circuités et le nombre maximal autorisé de niveaux présentant des pannes qui n'ont pas produit de court-circuit d'un niveau de valve, il est dans la pratique courante d'arrondir toutes les fractions au nombre entier supérieur, comme illustré au Tableau 2.

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

Nombre de niveaux de valve soumis à essai	Nombre de niveaux de valve autorisés à subir un court-circuit lors de l'un des essais de type	Nombre total de niveaux de valve autorisés à subir un court-circuit lors de tous les essais de type	Nombre supplémentaire de niveaux de valve, dans tous les essais de type, qui ont expérimenté une panne mais n'ont pas subi de court-circuit
Jusqu'à 33	1	1	1
de 34 à 67	1	2	2
de 68 à 100	1	3	3
etc.			

La distribution de niveaux court-circuités et d'autres pannes de niveau de valve à la fin de tous les essais de type doit être essentiellement aléatoire et ne doit pas révéler de défaut de conception.

4.4.3 Critères applicables à l'ensemble de la valve

Les ruptures ou contournements externes autour de l'équipement électrique commun associé à plus d'un niveau de valve de la valve, ou les décharges disruptives dans le matériau diélectrique faisant partie de la structure de la valve, des conduits de refroidissement, des guides de lumière ou d'autres parties isolantes du système de transport et de distribution d'impulsions ne doivent pas être autorisés.

Les températures de surface du composant et du conducteur, prises avec les connexions et les joints parcourus par un courant associés, et la température des surfaces de montage adjacentes doivent en permanence rester dans les limites autorisées par la conception.

5 Liste des essais de type

Le Tableau 3 dresse la liste des essais de type indiqués dans les Articles 6 à 12.

Tableau 3 – Liste des essais de type

Essai de type	Article ou paragraphe	Objet d'essai
Essai de contrainte en fonctionnement continu maximal	6.4	Valve ou section de valve
Essai de contrainte en fonctionnement en surcharge temporaire maximale	6.5	Valve ou section de valve
Essai de tension c.c. minimale	6.6	Valve ou section de valve
Essai de tension c.c. du support de valve	7.3.1	Support de valve
Essai de tension c.a. du support de valve	7.3.2	Support de valve
Essai d'impulsion de commutation du support de valve	7.3.3	Support de valve
Essai d'impulsion de foudre du support de valve	7.3.4	Support de valve
Essai de tension c.c. de la MVU à la terre	8.3.1	MVU
Essai de tension c.a. de la MVU	8.3.2	MVU
Essai d'impulsion de commutation de la MVU	8.3.3	MVU
Essai d'impulsion de foudre de la MVU	8.3.4	MVU
Essai de tension c.c. – c.a. de la valve	9.3.1	Valve (ou section de valve selon accord entre le fournisseur et le client)
Essai d'impulsion de commutation de la valve	9.3.3	
Essai d'impulsion de foudre de la valve	9.3.4	
Essai de mise hors tension de l'IGBT en cas de surintensité	10	Valve ou section de valve
Essai de courant de court-circuit	11	Valve ou section de valve
Essai d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques	12	Valve (ou section de valve selon accord entre le fournisseur et le client)

6 Essais de fonctionnement

6.1 Objectif des essais

Les principaux objectifs des essais de fonctionnement consistent:

- à vérifier la compatibilité du niveau de la paire VSC/diode et des circuits électriques associés dans une valve en termes de courant, de tension et de contraintes de température à l'état conducteur, à la mise sous tension et à la mise hors tension dans les pires conditions de contraintes répétées;
- à démontrer que l'électronique de la valve et les circuits de puissance des valves à VSC interagissent correctement.

6.2 Objet d'essai

Les essais peuvent être réalisés soit sur l'ensemble de la valve soit sur des sections de valve. Ce choix dépend principalement du type de valve et des installations d'essai disponibles. Les essais spécifiés dans le présent article conviennent aux sections de valve comportant au moins cinq niveaux de paires VSC/diode connectées en série. En cas de proposition d'essais pour un nombre de niveaux inférieur à cinq, des facteurs de sécurité d'essai supplémentaires doivent faire l'objet d'un accord. En aucun cas le nombre de niveaux connectés en série pour les essais ne doit être inférieur à trois.

La valve et les sections de valve soumises à essai doivent être assemblées avec tous les composants auxiliaires. Si nécessaire, une protection de valve échelonnée proportionnellement doit être intégrée. Cette protection doit être échelonnée en fonction du nombre de niveaux connectés en série soumis à essai afin de garantir un niveau de protection correspondant au moins aux caractéristiques maximales de la protection de service.

Le liquide de refroidissement doit être dans un état représentatif des conditions d'utilisation. Son débit et sa température doivent notamment être réglés de manière à correspondre aux valeurs les moins favorables adaptées à l'essai concerné, de sorte que la ou les températures de composant appropriées soient égales aux valeurs applicables lors de l'utilisation.

6.3 Circuit d'essai

Pour les conceptions dans lesquelles la valve agit comme une source de tension commandable et dispose d'une capacité c.c. intégrée, la capacité c.c. et ses connexions aux dispositifs de semi-conducteur font partie intégrante de l'objet d'essai.

Cependant, pour les modèles dans lesquels la valve fonctionne à la manière d'un commutateur et où le condensateur c.c. n'est pas intégré à la valve, il est nécessaire que le condensateur c.c. soit correctement représenté dans le circuit d'essai. En particulier, l'inductance de fuite de série des connexions entre le condensateur c.c. et la valve, et la capacité parasite autour de la section de valve doivent être correctement reproduites et échelonnées en fonction de la taille de la section de valve soumise à essai. Il convient que les interconnexions de circuit d'essai soient représentatives du type utilisé dans le convertisseur, afin de ne pas introduire de niveaux d'amortissement irréalistes causés par les effets pelliculaires.

6.4 Essai de contrainte en fonctionnement continu maximal

Il est nécessaire que l'essai reproduise les paramètres suivants en fonction des pires conditions de fonctionnement en utilisation du convertisseur. Il peut s'avérer nécessaire de procéder à plusieurs essais pour reproduire l'ensemble des paramètres à leurs valeurs maximales.

Pour les valves à VSC:

- températures continues maximales à la jonction de l'IGBT;
- températures continues maximales à la jonction de la DRL;
- températures continues maximales du parasurtenseur;
- tension et courant de mise sous tension et de mise hors tension continus maximaux.

Pour les valves à diode:

- température continue maximale à la jonction de la diode;
- températures continues maximales du parasurtenseur;
- tension et courant de mise hors tension de diode continus maximaux.

Il est nécessaire que tous ces paramètres soient reproduits lors de l'essai de contrainte en fonctionnement continu maximale. Ils peuvent être reproduits soit dans des essais individuels soit dans un essai combiné.

La tension d'essai doit être établie sur la tension directe continue maximale, la fréquence de commutation d'essai doit être établie sur la fréquence de commutation continue maximale et le modèle de modulation doit être représentatif de celui employé au cours de l'utilisation. La température du liquide de refroidissement ne doit pas être inférieure à celle nécessaire pour fournir les températures en régime permanent à la jonction de l'IGBT et/ou à la jonction de la diode les plus élevées au cours de l'utilisation.

Le courant d'essai, en valeur efficace, doit intégrer un facteur de sécurité d'essai de 1,05.

La tension d'essai U_{tpv1} correspondant à la tension c.c. de fonctionnement continu maximale doit être déterminée comme suit:

$$U_{tpv1} = U_{dmax} \cdot k_n \cdot k_1$$

où

U_{dmax} est la tension c.c. de fonctionnement continue maximale, y compris l'ondulation;

k_n est un facteur d'échelle d'essai conformément à 4.3.1;

k_1 est un facteur de sécurité d'essai;

$k_1 = 1,05$.

La durée de l'essai ne doit pas être inférieure à 30 min après que la température du liquide de refroidissement de sortie soit stabilisée.

6.5 Essai de contrainte en fonctionnement en surcharge temporaire maximale

Si la valve est spécifiée pour le fonctionnement en surcharge temporaire, un essai de contrainte en fonctionnement temporaire maximal doit être réalisé.

Les conditions d'essai, si nécessaire, doivent être déterminées à l'aide de la même méthodologie qu'en 6.4 ci-dessus.

Préalablement à l'essai, la valve ou la section de valve doit être amenée à un équilibre thermique dans les conditions indiquées en 6.4. L'essai de contrainte en fonctionnement temporaire est alors engagé à partir de cette condition initiale et poursuivi pendant une durée égale à la durée de la surcharge temporaire multipliée par 1,2.

Après l'essai de contrainte en fonctionnement en surcharge temporaire, un essai de contrainte en fonctionnement continu maximal de 10 min doit être effectué.

6.6 Essai de tension c.c. minimale

Cet essai sert à vérifier le fonctionnement correct de ces conceptions de valve dans lesquelles l'énergie pour les circuits électroniques de valve est extraite de la tension apparaissant entre les bornes de la valve.

L'essai consiste à appliquer une tension c.c. entre les bornes de la valve ou de la section de valve. Pour cet essai, seule la tension compte, le courant lui ne compte pas.

Le fonctionnement correct des circuits électroniques de la valve peut être démontré soit en débloquent la valve ou la section de valve, soit en prolongeant l'état bloqué et en surveillant les signaux de retour des données de l'électronique de la valve.

La tension d'essai U_{min} se définit comme suit:

$$U_{min} = \frac{N_{tut}}{N_t} \cdot U_W \cdot k_2$$

où

U_W est la tension c.c. la plus basse pour une valve en fonctionnement où la fonction appropriée de l'électronique de la valve est nécessaire;

N_{tut} est le nombre de niveaux de valve connectés en série soumis à essai;

N_t est le nombre total de niveaux de valve connectés en série dans une valve unique, y compris la redondance;

k_2 est un facteur de sécurité d'essai;

$k_2 = 0,95$.

La durée de l'essai ne doit pas être inférieure à 10 min.

7 Essais diélectriques sur la structure de support de valve

7.1 Objectif des essais

Les principaux objectifs de ces essais consistent:

- a) à vérifier la capacité de tenue en tension de l'isolement du support de valve, des conduits de refroidissement, des guides de lumière et d'autres composants isolants associés au support de valve. En cas d'isolement à la terre autre que le support de valve, des essais supplémentaires peuvent s'avérer nécessaires;
- b) à vérifier que les tensions de début et de fin de la décharge partielle sont supérieures à la tension de fonctionnement maximale apparaissant sur le support de valve.

NOTE En fonction de l'application, il peut s'avérer possible d'éliminer certains des essais réalisés sur le support de valve, qui font l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur.

7.2 Objet d'essai

Le support de valve à utiliser pour les essais peut être un objet séparé représentatif incluant une représentation des parties adjacentes à la valve, ou faire partie de l'assemblage utilisé pour les essais de valve unique ou d'unité de valve multiple. Il doit être assemblé avec tous les composants auxiliaires en place et disposer de surfaces de potentiel de terre adjacentes représentées de manière appropriée. Le liquide de refroidissement doit se trouver dans un état représentatif de l'état d'utilisation le plus coûteux pour l'objectif de l'essai.

Si une valve unique est composée de plusieurs structures de sorte qu'il existe plusieurs structures de support de valve par valve, il doit être démontré que les essais proposés couvrent les pires contraintes subies par les structures de support de valve.

7.3 Exigences relatives aux essais

Tous les niveaux d'essais ci-dessous font l'objet d'une correction atmosphérique telle que décrite en 4.2.

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

Les deux principales bornes de la valve doivent être connectées entre elles et ensuite la tension c.c. doit être appliquée entre les deux 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 en approximativement 10 s, rester constante pendant 1 min, être ensuite réduite jusqu'à atteindre la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 3 h, rester constante pendant 3 h et enfin être réduite à zéro. Pendant la dernière heure de l'essai de 3 h spécifié, le nombre de décharges partielles dépassant 300 pC doit être consigné comme indiqué dans l'Annexe B de la CEI 60700-1.

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 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, le support de valve doit être court-circuité et mis à la terre pendant au moins 2 h.

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

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

où

U_{dmS} est la valeur maximale du composant c.c. de la tension de fonctionnement en régime permanent apparaissant à travers le support de valve;

k_3 est un facteur de sécurité d'essai;

$k_3 = 1,6$ pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;

$k_3 = 1,1$ pour l'essai de maintien de la tension pendant 3 h;

k_t est le facteur de correction atmosphérique;

k_t est la valeur conformément à 4.2 pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;

$k_t = 1,0$ pour l'essai de maintien de la tension pendant 3 h.

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

Pour effectuer l'essai, les deux principales bornes de la valve doivent être connectées entre elles et ensuite, la tension d'essai c.a. doit être appliquée entre les deux 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 U_{tas1} en approximativement 10 s, rester constante pendant 1 min, être réduite jusqu'à atteindre la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 30 min U_{tas2} , rester constante pendant 30 min et enfin être ramenée à zéro. Au cours de la dernière minute de l'essai spécifié de maintien de la tension pendant 30 min, le niveau de décharge partielle doit être surveillé et enregistré. 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.

La valeur efficace de la tension d'essai c.a. du support de valve U_{tas} doit être déterminée conformément aux éléments suivants:

$$U_{tas} = \frac{U_{mS}}{\sqrt{2}} \cdot k_r \cdot k_4 \cdot k_t$$

où

U_{mS} est la valeur de crête de la tension de fonctionnement répétée maximale dans le support de valve au cours d'un fonctionnement en régime permanent, y compris le dépassement de commutation;

U_{tas1} est la tension d'essai à maintenir pendant 1 min;

U_{tas2} est la tension d'essai à maintenir pendant 30 min;

k_4 est un facteur de sécurité d'essai;

$k_4 = 1,3$ pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;

$k_4 = 1,15$ pour l'essai de maintien de la tension pendant 30 min;

k_t est le facteur de correction atmosphérique;

k_t est la valeur conformément à 4.2 pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;

$k_t = 1,0$ pour l'essai de maintien de la tension pendant 30 min;

- k_r est le facteur de surtension temporaire;
- k_r est la valeur déterminée à partir des études du système pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;
- $k_r = 1,0$ pour l'essai de maintien de la tension pendant 30 min.

7.3.3 Essai d'impulsion de commutation de support de valve

Cet essai doit comprendre trois applications de tensions d'impulsion de commutation de polarité positive et trois applications de tensions d'impulsion de commutation de polarité négative entre les bornes principales de la valve (connectées entre elles) et la terre.

Une forme d'onde de tension d'impulsion de commutation normalisée conforme à la CEI 60060 doit être utilisée.

La tension d'essai doit être choisie conformément à la coordination de l'isolement de la sous-station VSC.

7.3.4 Essai d'impulsion de foudre du support de valve

Cet essai doit comprendre trois applications de tensions d'impulsion de foudre de polarité positive et trois applications de tensions d'impulsion de foudre de polarité négative entre les bornes principales de la valve (connectées entre elles) et la terre.

Une forme d'onde de tension d'impulsion de foudre normalisée conforme à la CEI 60060 doit être utilisée.

La tension d'essai doit être choisie conformément à la coordination de l'isolement de la sous-station VSC.

8 Essais diélectriques sur une unité de valves multiples

Le présent article s'applique uniquement si au moins deux valves sont installées dans une structure de valve commune (unité de valve multiple). Dans le cas où chaque valve est montée individuellement dans sa propre structure de valve, le présent article ne s'applique pas.

8.1 Objectif des essais

Les principaux objectifs de ces essais consistent:

- à vérifier la capacité de tenue en tension de l'isolement externe de la MVU, par rapport à son environnement, notamment dans le cas de valve(s) connectée(s) au potentiel de pôle;
- à vérifier la capacité de tenue en tension entre chaque valve dans une structure de MVU;
- à vérifier que les niveaux de décharge partielle se situent dans les limites spécifiées.

8.2 Objet d'essai

De nombreuses dispositions de valves et d'unités de valve multiple sont possibles. Le ou les objets d'essai doivent être choisis pour refléter, le plus précisément possible, la configuration d'utilisation des valves dans la mesure où elle est nécessaire pour l'essai en question. L'objet d'essai doit être entièrement équipé à moins qu'il soit possible de démontrer que la simulation ou l'omission de certains composants ne rend pas les résultats moins significatifs.

Il peut s'avérer nécessaire de court-circuiter certaines valves individuellement en fonction de la configuration de la MVU et des objectifs de l'essai.

Quand la borne à basse tension de la MVU n'est pas connectée au potentiel de terre, la borne à basse tension de la MVU doit être arrêtée au cours des essais afin de simuler avec exactitude la tension apparaissant au niveau de cette borne. Des plans de masse, dont la séparation doit être déterminée en fonction de la proximité d'autres valves et des surfaces au potentiel de terre, doivent être utilisés.

8.3 Exigences relatives aux essais

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

La tension d'essai c.c. doit être appliquée entre la borne c.c. de potentiel le plus élevé de la MVU 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 en approximativement 10 s, rester constante pendant 1 min, être ensuite réduite jusqu'à atteindre la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 3 h, rester constante pendant 3 h et enfin être ramenée à zéro.

Pendant la dernière heure de l'essai spécifié de maintien de la tension pendant 3 h, le nombre de décharges partielles dépassant 300 pC doit être enregistré.

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 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, les bornes de la MVU doivent être court-circuitées ensemble et mises à la terre pendant au moins 2 h.

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

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

où

U_{dmm} est la valeur maximale du composant c.c. de la tension de fonctionnement en régime permanent apparaissant entre la borne à haute tension de la MVU et la terre;

k_5 est un facteur de sécurité d'essai;

k_5 = 1,6 pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;

k_5 = 1,1 pour l'essai de maintien de la tension pendant 3 h;

k_t est le facteur de correction atmosphérique;

k_t est la valeur conformément à 4.2 pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;

k_t = 1,0 pour l'essai de maintien de la tension pendant 3 h.

8.3.2 Essai de tension c.a. de la MVU

Si une MVU subit des contraintes de tension composée c.a. ou c.a. et c.c. entre deux bornes, dont la capacité de tenue de n'a pas été démontrée de manière appropriée par d'autres

essais, il sera nécessaire d'effectuer un essai de tension c.a. entre les bornes concernées de la MVU.

Pour réaliser l'essai, la source de tension d'essai doit être connectée à la paire de bornes de la MVU en question. Le point de connexion à la terre dépend de la disposition du circuit d'essai.

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

Au cours de l'essai spécifié de maintien de la tension pendant 30 min, le niveau de décharge partielle doit être surveillé et enregistré. 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.

La valeur efficace de la tension d'essai c.a. de la MVU U_{tam} doit être déterminée conformément aux éléments suivants:

$$U_{\text{tam}} = \frac{U_{\text{mm}}}{\sqrt{2}} \cdot k_r \cdot k_6 \cdot k_t$$

où

U_{mm} est la valeur de crête de la tension de fonctionnement répétée maximale apparaissant entre les bornes de la MVU au cours d'un fonctionnement en régime permanent, y compris le dépassement de commutation;

k_6 est un facteur de sécurité d'essai;

k_6 = 1,3 pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;

k_6 = 1,15 pour l'essai de maintien de la tension pendant 30 min;

k_r est le facteur de surtension temporaire;

k_r est la valeur déterminée à partir des études du système pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;

k_r = 1,0 pour l'essai de maintien de la tension pendant 30 min;

k_t est le facteur de correction atmosphérique;

k_t est la valeur conformément à 4.2 pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;

k_t = 1,0 pour l'essai de maintien de la tension pendant 30 min.

8.3.3 Essai d'impulsion de commutation de la MVU

Une forme d'onde de tension d'impulsion de commutation normalisée conforme à la CEI 60060 doit être utilisée.

La tension d'essai d'impulsion de commutation de la MVU doit être appliquée entre la borne à haute tension de la MVU et la terre.

L'essai doit comprendre trois applications de tension d'impulsion de commutation de polarité positive et trois applications de tension d'impulsion de commutation de polarité négative d'une amplitude spécifiée.

La tension d'essai d'impulsion de commutation de la MVU U_{tsm} doit être déterminée conformément aux éléments suivants:

$$U_{tsm} = \pm SIPL_m \cdot k_7 \cdot k_t$$

où

$SIPL_m$ est le niveau de protection d'impulsion de commutation déterminé par la coordination de l'isolement en tenant compte du ou des parasurtenseurs connectés entre la borne à haute tension de la MVU et la terre;

K_7 est un facteur de sécurité d'essai;

$k_7 = 1,10$;

k_t est le facteur de correction atmosphérique;

k_t est la valeur conformément à 4.2.

Si l'essai indiqué ci-dessus n'évalue pas de manière appropriée la tenue des impulsions de commutation entre toutes les bornes de la MVU, on doit alors envisager de procéder à des essais supplémentaires pour vérifier l'isolement.

NOTE Un accord entre le client et le fournisseur peut rendre l'essai d'impulsion de commutation de la MVU inutile, à condition qu'il soit possible de démontrer d'une autre manière que:

- les distances d'isolement dans l'air extérieures aux autres valves et à la terre sont adaptées au niveau de tenue en tension d'impulsion de commutation requis; et
- la tenue des impulsions de commutation entre deux bornes de la MVU est correctement démontrée par d'autres essais.

8.3.4 Essai d'impulsion de foudre de la MVU

Une forme d'onde de tension d'impulsion de foudre normalisée conforme à la CEI 60060 doit être utilisée.

La tension d'essai d'impulsion de foudre de la MVU doit s'appliquer entre la borne à haute tension de la MVU et la terre.

L'essai doit comprendre trois applications de tension d'impulsion de foudre de polarité positive et trois applications de tension d'impulsion de foudre de polarité négative d'une amplitude spécifiée.

La tension d'essai d'impulsion de foudre de MVU U_{tIm} doit être déterminée conformément aux éléments suivants:

$$U_{tIm} = \pm LIPL_m \cdot k_8 \cdot k_t$$

où

$LIPL_m$ est le niveau de protection d'impulsion de foudre déterminé par la coordination de l'isolement en tenant compte du ou des parasurtenseurs connectés entre la borne à haute tension de la MVU et la terre;

k_8 est un facteur de sécurité d'essai;

$k_8 = 1,10$;

k_t est le facteur de correction atmosphérique;

k_t est la valeur conformément à 4.2.

S'il n'est pas possible de démontrer que l'essai indiqué ci-dessus évalue de manière appropriée la tension de tenue d'impulsion de foudre entre toutes les bornes de la MVU, on doit alors envisager de procéder à des essais supplémentaires pour vérifier l'isolement.

NOTE Un accord entre le client et le fournisseur peut rendre l'essai d'impulsion de foudre de la MVU inutile, à condition qu'il soit possible de démontrer d'une autre manière que:

- a) les distances d'isolement dans l'air extérieures aux autres valves et à la terre sont adaptées au niveau de tenue en tension d'impulsion de foudre requis; et
- b) la tension de tenue d'impulsion de foudre entre deux bornes de la MVU est correctement démontrée par d'autres essais.

9 Essais diélectriques entre les bornes de la valve

9.1 Objectif de l'essai

L'objectif de ces essais consiste à vérifier la conception de la valve en ce qui concerne les caractéristiques relatives à la tension de différents types de surtensions (surtensions c.c., c.a., d'impulsion de commutation et d'impulsion de foudre). Il convient que les essais démontrent que:

- a) la valve résistera aux surtensions spécifiées;
- b) les décharges partielles se situeront dans les limites spécifiées des conditions d'essai spécifiées;
- c) les circuits internes d'évaluation de la tension ont une puissance nominale suffisante;
- d) les circuits électroniques de la valve se comportent comme prévu.

Il convient d'indiquer que les essais décrits dans le présent article sont établis sur des formes d'onde normalisées et des procédures d'essai normalisées telles que développées pour l'essai des systèmes et des composants c.a. à haute tension. Cette approche présente de nombreux avantages aux industries car elle permet d'appliquer la plus grande part de la technologie existante en matière d'essais à haute tension à la qualification des valves CCHT. En revanche, il faut admettre qu'une application CCHT particulière peut entraîner des formes d'onde différentes des formes d'onde normalisées et que, dans ce cas, l'essai peut être modifié afin de refléter de manière réaliste les conditions attendues.

9.2 Objet d'essai

Il convient que l'objet d'essai soit généralement une valve complète. Les essais portant sur des sections de valve individuelles sont acceptés à condition que le fournisseur puisse démontrer que la répartition de la tension entre les sections de valve, dans les conditions d'essai, est représentative de la répartition de la tension dans une valve complète en utilisation. La valve ou section de valve d'essai doit être montée avec tous les composants auxiliaires à l'exception du parasurtenseur de valve. La valve peut faire partie d'une unité de valve multiple.

Sauf spécification contraire, l'électronique de la valve doit être alimentée pour tous les essais d'impulsion.

Si une section de valve est utilisée comme objet d'essai, il convient que le nombre minimal de niveaux de valve dans la section d'essai soit convenu avec le client. Dans ce cas, des essais supplémentaires pour vérifier l'isolement entre les différentes parties de la valve complète peuvent s'avérer nécessaires et doivent être convenus entre le client et le fournisseur.

L'état du liquide de refroidissement doit être représentatif des conditions d'utilisation, à l'exception du débit, qui peut être réduit. Si un objet extérieur à la structure est nécessaire pour représenter de manière appropriée les contraintes subies au cours des essais, cet objet doit être intégré ou simulé dans l'essai. Des plans de masse, dont la séparation doit être déterminée en fonction de la proximité d'autres valves et surfaces de potentiel de terre adjacentes, doivent être utilisés.

L'objet d'essai utilisé pour les essais diélectriques de la valve ne permet normalement pas d'appliquer une correction atmosphérique aux tensions d'essai spécifiées sans soumettre à des contraintes excessives les composants internes. C'est la raison pour laquelle aucun facteur de correction atmosphérique n'est appliqué aux essais diélectriques entre les bornes

de la valve. Le fournisseur doit démontrer que les effets des conditions atmosphériques sur la tenue interne de la valve ont été pris en compte de manière appropriée.

9.3 Exigences relatives aux essais

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

Cet essai comprend un essai de courte durée et un essai de longue durée. L'essai de courte durée reproduit la tension composée c.a. – c.c. provoquée par certaines pannes du convertisseur ou du système.

Le pire cas possible dépend du modèle de valve. Les cas à prendre en considération comprennent, de manière non exhaustive:

- le court-circuit de la borne c.a. à la terre;
- le court-circuit de la borne c.a. entre les phases;
- le circuit ouvert de la borne c.a.;
- le rejet de charge du système c.a.;
- le court-circuit ou le raté d'allumage d'une autre valve dans la même unité de phase;
- la panne de mise à la terre du pôle c.c.

Dans cet essai, un condensateur peut être utilisé conjointement à une source de tension d'essai c.a. pour produire une forme d'onde de tension composée c.a. – c.c.. En fonction de la topologie du convertisseur, le condensateur peut faire partie intégrante de la valve ou constituer un élément séparé (partie du circuit d'essai, et non partie de l'objet d'essai).

Une autre possibilité consiste à utiliser une source de tension c.c. séparée, à la place du condensateur.

En partant d'une tension inférieure à 50 % de la tension d'essai maximale, la tension doit être accélérée en approximativement 10 s 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 30 min, et rester constante pendant 30 min, puis enfin être ramenée à zéro.

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

NOTE 2 Il peut s'avérer nécessaire de désactiver les unités de grille ou d'autres circuits auxiliaires lors de cet essai, afin de prévenir toute interférence avec le mesurage de la décharge partielle, provenant par exemple des circuits d'alimentation de l'unité de grille.

Les tensions d'essai de valve ont une forme d'onde sinusoïdale superposée sur un niveau c.c.

La tension d'essai de 10 s de la valve, U_{tv1} , doit être déterminée conformément aux éléments suivants:

$$U_{tv1} = (U_{ac1} \cdot \sin(2\pi ft) + U_{dc1}) \cdot k_o \cdot k_g$$

où

U_{ac1} est la valeur de crête de la surtension du composant c.a. de transitoire maximale à travers la valve. L'effet restrictif du parasurtenseur de la valve ou du pôle peut être pris en considération pour déduire la surtension en état d'utilisation;

U_{dc1} est la surtension du composant c.c. de transitoire maximale à travers la valve. L'effet restrictif du parasurtenseur de la valve ou du pôle peut être pris en considération pour déduire la surtension en état d'utilisation;

k_o est un facteur d'échelle d'essai conformément à 4.3.2;

k_g est un 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 30 min de la valve, U_{tv2} , doit être déterminée conformément aux éléments suivants:

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

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

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

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

$U_{d\max}$ est la valeur maximale du composant c.c. de la tension de fonctionnement en régime permanent du système c.c.;

k_o est un facteur d'échelle d'essai conformément à 4.3.2;

k_{10} est un 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).

NOTE 3 Il convient que l'utilisation d'un condensateur à la place d'une source c.c. dans le circuit d'essai fasse l'objet d'un accord entre le fournisseur et le client dans la mesure où la tension d'essai est supérieure à la valeur réelle.

9.3.2 Essais d'impulsion de la valve (généralités)

Il convient de tenir compte de ce qui suit pendant les essais d'impulsion de la valve.

- Pour certaines applications, si par exemple aucune ligne aérienne n'est présente du côté c.c. et que la barre omnibus entre la bobine d'inductance de phase et les valves est entièrement protégée contre le foudroiement direct du côté c.a. ou dans les topologies, où la valve joue le rôle d'une source de tension commandable avec sa propre capacité c.c. intégrée, les essais d'impulsion de valve sont moins importants puisque les valves ne subissent pas les impulsions à une amplitude pouvant s'avérer décisive pour leur fonctionnement électrique. Dans ce type d'applications, les essais d'impulsion peuvent être omis.
- L'essai d'impulsion s'applique uniquement dans la polarité correspondant à la polarité de tension de tenue de la valve.
- 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.

9.3.3 Essai d'impulsion de commutation de la valve

Une forme d'onde de tension d'impulsion de commutation normalisée conforme à la CEI 60060 doit être utilisée.

L'essai doit comprendre trois applications de tensions d'impulsion de commutation d'une amplitude spécifiée sur la valve.

La tension de tenue d'essai d'impulsion de commutation de la valve U_{tsv} doit être déterminée conformément aux éléments suivants.

- Valve avec protection par parasurtenseur de la valve:

$$U_{tsv} = SIPL_V \cdot k_o \cdot k_{11}$$

où

$SIPL_V$ est le niveau de protection d'impulsion de commutation du parasurtenseur de la valve;

k_o est un facteur d'échelle d'essai conformément à 4.3.2;

k_{11} est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{11} = 1,10$.

- Valve sans protection par parasurtenseur de la valve:

L'objectif de cet essai consiste à vérifier l'isolement de la valve quand elle n'est pas directement protégée par des parasurtenseurs.

$$U_{tsv} = U_{cms} \cdot k_o \cdot k_{12}$$

où

U_{cms} est la tension prévue d'impulsion de commutation à travers les bornes de la valve, conformément aux études de coordination de l'isolement du système;

k_o est un facteur d'échelle d'essai conformément à 4.3.2;

k_{12} est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{12} = 1,3$.

La valve doit résister à la tension d'essai sans rupture de la commutation ni de l'isolement.

9.3.4 Essai d'impulsion de foudre de la valve

Une forme d'onde de tension d'impulsion de foudre normalisée conforme à la CEI 60060 doit être utilisée.

L'essai doit comprendre trois applications de tensions d'impulsion de foudre d'une amplitude spécifiée sur la valve.

La tension de tenue d'impulsion de foudre de la valve U_{tlv} doit être déterminée conformément aux éléments suivants.

- Valve avec protection par parasurtenseur de la valve:

$$U_{tlv} = LIPL_V \cdot k_o \cdot k_{13}$$

où

$LIPL_V$ est le niveau de protection d'impulsion de foudre du parasurtenseur de la valve;

k_0 est un facteur d'échelle d'essai conformément à 4.3.2;

k_{13} est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{13} = 1,10$.

– Valve sans protection par parasurtenseur de la valve:

L'objectif de cet essai consiste à vérifier l'isolement de la valve quand elle n'est pas directement protégée par des parasurtenseurs.

$$U_{tlv} = U_{cml} \cdot k_0 \cdot k_{14}$$

où

U_{cml} est la tension prospective d'impulsion de foudre prévue à travers les bornes de la valve conformément aux études de coordination de l'isolement du système,

k_0 est un facteur d'échelle d'essai conformément à 4.3.2;

k_{14} est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{14} = 1,3$.

La valve doit résister à la tension d'essai sans rupture de la commutation ni de l'isolement.

10 Essai de mise hors tension de l'IGBT en cas de surintensité

10.1 Objectif de l'essai

Le principal objectif consiste à vérifier la qualité de conception de la valve à VSC, notamment l'IGBT, et des circuits électriques associés par rapport aux contraintes de tension et de courant à la mise hors tension, en cas de pannes de type court-circuit ou de ratés d'allumage.

L'essai doit simuler la pire combinaison de contrainte de tension et de température de jonction instantanée, dans des conditions représentant les situations les moins favorables en matière de tolérance des circuits de surveillance/protection.

Les exigences générales relatives au circuit d'essai et à la représentation du condensateur c.c., de l'inductance de boucle, etc. sont telles qu'indiquées en 6.3.

Le pire cas possible dépend de la conception de la valve mais les situations suivantes, dont la liste n'est pas exhaustive, sont à prendre en considération:

- le court-circuit de la borne c.a. à la terre;
- le court-circuit de la borne c.a. entre les phases;
- le court-circuit ou le raté d'allumage d'une autre valve dans la même unité de phase.

10.2 Objet d'essai

Comme décrit en 6.2. Cependant, il peut également s'avérer nécessaire de représenter certains circuits de protection ou de surveillance dans les cas où ceux-ci sont essentiels pour détecter une surintensité.

10.3 Exigences relatives à l'essai

L'essai consiste à faire atteindre à l'objet d'essai l'équilibre thermique dans les conditions produisant la température de jonction en régime permanent la plus élevée pour l'IGBT concerné (voir 6.4) et à susciter ensuite une surintensité. Le système de commande et de protection détecte alors la surintensité et la supprime en mettant l'IGBT hors tension à un courant inférieur à la limite de mise hors tension sécurisée maximale.