

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Voltage sourced converter (VSC) valves for static synchronous compensator (STATCOM) – Electrical testing

Valves de convertisseur source de tension (VSC) pour compensateur synchrone statique (STATCOM) – Essais électriques



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2023 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Voltage sourced converter (VSC) valves for static synchronous compensator (STATCOM) – Electrical testing

Valves de convertisseur source de tension (VSC) pour compensateur synchrone statique (STATCOM) – Essais électriques

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.200; 29.240.99

ISBN 978-2-8322-7025-7

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62927:2017+AMD1:2023 CSV

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE



Voltage sourced converter (VSC) valves for static synchronous compensator (STATCOM) – Electrical testing

Valves de convertisseur source de tension (VSC) pour compensateur synchrone statique (STATCOM) – Essais électriques

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 of converter	8
3.4 STATCOM construction terms.....	9
3.5 Valve structure terms	10
4 General requirements	11
4.1 Guidelines for the performance of type tests	11
4.1.1 General	11
4.1.2 Dielectric tests	11
4.1.3 Operational tests	11
4.1.4 Electromagnetic interference tests	11
4.1.5 Evidence in lieu	11
4.1.6 Test object.....	12
4.1.7 Test procedure	12
4.1.8 Ambient temperature for testing.....	12
4.1.9 Frequency for testing.....	12
4.1.10 Conditions to be considered in determination of type test parameters	12
4.1.11 Test reports	12
4.2 Atmospheric correction factor	13
4.3 Treatment of redundancy	13
4.3.1 Operational tests	13
4.3.2 Dielectric tests.....	13
4.4 Permissible component failures during type testing	14
5 List of tests.....	14
6 Operational tests	15
6.1 Purpose of tests.....	15
6.2 Test object.....	15
6.3 Test circuit.....	16
6.4 Maximum continuous operating duty test	16
6.5 Maximum temporary overload operating duty test	17
6.6 Minimum start voltage test	17
7 Dielectric tests on valve support	18
7.1 Purpose of tests.....	18
7.2 Test object.....	18
7.3 Test requirements	18
7.3.1 Valve support DC voltage test.....	18
7.3.2 Valve support AC voltage test.....	19
7.3.3 Valve support lightning impulse test.....	20
8 Dielectric tests on multiple valve unit (MVU)	20
8.1 General.....	20
8.2 Purpose of tests.....	20
8.3 Test object.....	20

8.4	Test requirements	21
8.4.1	MVU AC voltage test	21
8.4.2	MVU DC voltage test	21
8.4.3	MVU lightning impulse test	22
9	Dielectric tests between valve terminals	22
9.1	Purpose of the test.....	22
9.2	Test object.....	22
9.3	Test methods	23
9.3.1	General	23
9.3.2	Method 1	23
9.3.3	Method 2	23
9.4	Test requirements	23
9.4.1	Valve AC voltage or AC-DC voltage test	23
9.4.2	Valve switching impulse test	26
10	IGBT overcurrent turn-off test	27
10.1	Purpose of test	27
10.2	Test object.....	27
10.3	Test requirements	27
11	Tests for valve insensitivity to electromagnetic disturbance	27
11.1	Purpose of tests.....	27
11.2	Test object.....	28
11.3	Test requirements	28
11.3.1	General	28
11.3.2	Approach 1	28
11.3.3	Approach 2	28
11.3.4	Acceptance criteria	29
12	Short-circuit current test (optional)	29
12.1	Purpose of tests.....	29
12.2	Test object.....	29
12.3	Test requirements	29
13	Production tests.....	30
13.1	General.....	30
13.2	Purpose of tests.....	30
13.3	Test object.....	30
13.4	Test requirements	30
13.5	Production test objectives	30
13.5.1	Visual inspection	30
13.5.2	Connection check	31
13.5.3	Voltage-grading circuit check.....	31
13.5.4	Control, protection and monitoring circuit checks	31
13.5.5	Voltage withstand check	31
13.5.6	Turn-on/turn-off check	31
13.5.7	Pressure test	31
14	Presentation of type test results	31
Annex A (informative)	Overview of STATCOM valves	32
A.1	General.....	32
A.2	STATCOM applications and operating limits	32
A.3	Overview of STATCOM valve types.....	33

A.4	STATCOMs based on switch type valve	33
A.4.1	General	33
A.4.2	Two-level converter	34
A.4.3	Three-level converters	34
A.4.4	Multi-level converters.....	35
A.5	STATCOMs based on controllable voltage source type valve	36
A.6	Valve switching principles	37
Annex B (informative)	Valve component fault tolerance.....	39
Bibliography		40
Figure A.1	– STATCOM U - I characteristics	33
Figure A.2	– Two-level converter	34
Figure A.3	– Three-level NPC converter.....	35
Figure A.4	– Three-level flying capacitor converter	35
Figure A.5	– Modular multilevel converter	36
Figure A.6	– Single-phase full-bridge converter.....	37
Figure A.7	– Two-level converter output voltage	37
Figure A.8	– Output voltage shape of three-level converter and modular multi-level converter	38
Table 1	– Minimum number of valve levels to be tested as a function of the number of valve levels per valve.....	12
Table 2	– Valve level faults permitted during type tests.....	14
Table 3	– List of type tests.....	15

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

VOLTAGE SOURCED CONVERTER (VSC) VALVES FOR STATIC SYNCHRONOUS COMPENSATOR (STATCOM) – 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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.

IEC 62927 edition 1.1 contains the first edition (2017-07) [documents 22F/412/CDV and 22F/431A/RVC] and its amendment 1 (2023-05) [documents 22F/699/CDV and 22F/721/RVC].

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

International Standard IEC 62927 has been prepared by subcommittee 22F: Power electronics for electrical transmission and distribution systems, of IEC technical committee 22: Power electronic systems and equipment.

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

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under webstore.iec.ch in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

VOLTAGE SOURCED CONVERTER (VSC) VALVES FOR STATIC SYNCHRONOUS COMPENSATOR (STATCOM) – ELECTRICAL TESTING

1 Scope

This document applies to self-commutated valves, for use in voltage sourced converter (VSC) for static synchronous compensator (STATCOM). It is restricted to electrical type and production tests.

The tests specified in this document are based on air insulated valves. For other types of valves, the test requirements and acceptance criteria are agreed between the purchaser and the supplier.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60071-1:2006/2019, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60700-1:2015, *Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 1: Electrical testing*

IEC 62501, *Voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) power transmission – Electrical testing*

3 Terms and definitions

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

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

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

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

3.2.1

turn-off semiconductor device

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

Note 1 to entry: There are several types of turn-off semiconductor devices, for example IGBT, IGCT and GTO, which can be used in voltage sourced converters for STATCOM. For convenience, the term IGBT is used throughout this document to refer to the main, controllable turn-off, semiconductor device. However, this document is equally applicable to other types of controllable semiconductor switch device.

3.2.2

gate turn-off thyristor

GTO thyristor

turn-off semiconductor device which can be turned on and off by its gate lead

Note 1 to entry: A GTO thyristor is a special type of thyristor, which is a high-power semiconductor device.

Note 2 to entry: Gate commutated thyristor (GCT) and integrated gate commutated thyristor (IGCT) are special types of GTO thyristor.

3.2.3

insulated gate bipolar transistor

IGBT

transistor provided for power switching having a conduction channel and a PN junction and in which the current flowing through the channel and the junction is controlled by an electric field resulting from a voltage applied between the gate and emitter terminals

3.2.4

free-wheeling diode

FWD

power semiconductor device with diode characteristic connected to an insulated gate bipolar transistor (IGBT) in inverse parallel

Note 1 to entry: An FWD has two terminals: an anode (A) and a cathode (K).

Note 2 to entry: The current through FWDs is in the opposite direction to the IGBT current.

Note 3 to entry: Concepts of "inverse parallel" and "anti-parallel" are identical.

3.2.5

IGBT-diode pair

arrangement of IGBT and FWD connected in inverse parallel

3.3 Operating states of converter

3.3.1

blocking state

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

3.3.2

de-blocked state

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

3.3.3

valve protective blocking

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

3.3.4

voltage step level

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

Note 1 to entry: For a voltage source type valve, one half bridge cell corresponds to one voltage step level and a full bridge cell has two voltage step levels.

3.4 STATCOM construction terms

3.4.1

STATCOM

shunt connected reactive compensation equipment which is capable of generating and/or absorbing reactive power, whose capacitive or inductive output current can be controlled independently of the AC system voltage

Note 1 to entry: Previous alternative terms for the STATCOM have included static var generator (SVG), advanced static var compensator (ASVC) and static synchronous condenser (STATCON).

3.4.2

STATCOM valve

electrically and mechanically combined assembly of IGBT levels, complete with all connections, auxiliary components and mechanical structures, which can be connected in series with each phase of reactor of a STATCOM

Note 1 to entry: Depending 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. For controllable voltage source type converter, the STATCOM controllable voltage source type valve is a complete controllable voltage source assembly, which is generally connected between two AC phases. For switch type converter, the STATCOM switch type valve is an arrangement of IGBTs connected in series and arranged to be switched simultaneously as a single function unit between one AC phase and one DC terminal of the DC capacitor energy storage.

Note 2 to entry: For convenience, the term "STATCOM valve" is shortened as "valve" in this document.

3.4.3

diode valve

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

3.4.4

submodule

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

Note 1 to entry: This definition is only applicable for converters of controllable voltage source type.

3.4.5

switch type valve

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

3.4.6

controllable voltage source type valve

complete controllable voltage source assembly, which is generally connected between AC phases or between one AC terminal and one DC terminal

3.4.7

modular multi-level converter

MMC

multi-level converter in which each VSC valve (see 3.4.5, 3.4.6) consists of a number of MMC building blocks (see 3.4.9) connected in series

3.4.8

cascaded two-level converter

CTL

modular multi-level converter in which each switch position consists of more than one IGBT-diode pair connected in series

3.4.9

MMC building block

self-contained, two-terminal controllable voltage source together with DC capacitor(s) and immediate auxiliaries, forming part of a MMC

3.4.10

STATCOM valve level

the smallest indivisible functional unit of valve

Note 1 to entry: For any valve in which switch devices are connected in series and operated simultaneously, one valve level is one IGBT including its auxiliaries. For modular multilevel converter (MMC) type without IGBT connected in series, one valve level is one submodule (cell) together with its auxiliaries.

3.4.11

diode valve level

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

3.4.12

redundant valve levels

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

Note 1 to entry: In valve designs which contain two or more conduction paths within each cell and have series-connected VSC valve levels in each path, redundant levels shall be counted only in one conduction path in each cell.

3.5 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

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

3.5.3

multiple valve unit

MVU

mechanical arrangement of two or more valves sharing a common valve support, where applicable

3.5.4

valve section

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

3.5.5

valve base electronics

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

4 General requirements

4.1 Guidelines for the performance of type tests

4.1.1 General

The tests described apply to the valve (or valve sections), the valve structure and those parts of the coolant distribution system and firing and monitoring circuits which are contained within the valve structure (internal insulation) or connected between the valve structure and earth (external insulation). Other equipment, such as valve control and protection and valve base electronics, can be essential for demonstrating the correct function of the valve during the tests but are not in themselves the subject of the tests.

4.1.2 Dielectric tests

The purpose of these tests is to verify the valve design for voltage stresses under normal and abnormal repetitive conditions as well as under transient conditions.

In the interest of standardization with other equipment, lightning impulse tests between valve terminals and earth and between phases of a multiple valve unit (MVU) are included. For tests between valve terminals, the only impulse test specified is a switching impulse.

4.1.3 Operational tests

The purpose of these tests is to verify the valve design for combined voltage and current stresses under normal and abnormal repetitive conditions as well as under transient fault conditions.

4.1.4 Electromagnetic interference tests

The principal objective of these tests is to demonstrate the immunity of the valve to electromagnetic interference from within the valve and from outside the valve.

4.1.5 Evidence in lieu

Each design of valve shall be subjected to the type tests specified in this document. If the valve is demonstrably similar to one previously tested, the supplier may, in lieu of performing a type test or individual parts of it, 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.

4.1.6 Test object

~~4.1.6 does not apply to tests on the valve support and multiple valve units.~~ The test object ~~for those 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.

- 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 , including redundant levels	Total number of valve levels to be tested
1 to 10	Number of valve levels in one valve
11 to 50	10 valve levels
≥ 51	20% of valve levels in one valve

- 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~~ shall be demonstrated to have withstood the production tests to ensure proper manufacture.

Subclause 4.1.6 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 8.3.

4.1.7 Test procedure

The tests shall be performed in accordance with IEC 60060 (all parts), where applicable.

4.1.8 Ambient temperature for testing

The tests shall be performed in accordance with IEC 60060 (all parts), where applicable.

4.1.9 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.

4.1.10 Conditions to be considered in determination of type test parameters

Type test parameters ~~should~~ shall be determined based on the worst operating and fault conditions to which the valve can be subjected, according to system studies.

4.1.11 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 for site conditions are only applied for altitudes exceeding 1000 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 1000 m ($b_{1\,000\text{ m}}$).
- 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 correction factor for site conditions follows the standard procedure according to IEC 60060-1 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)

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

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 can be imposed upon the distribution of short-circuited valve levels. For example, there can 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 Permissible component failures during type testing

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 and providing the failed valve level permits the rest of the valve or valve section to continue operating without degraded performance.

The valves or valve sections shall be checked before each test, after any preliminary calibration tests, and again after each type test to determine whether or not any insulated gate bipolar transistors (IGBTs) or auxiliary components have failed during the test. Failed IGBTs or auxiliary components found at the end of a type test shall be remedied before further testing of a valve.

If, following a type test, one valve level (or more according to Table 2) has become short or open circuited, then the failed level(s) shall be restored and this type test repeated. Malfunction of valve level and component degrading detected in the routine test after type test are deemed as faults shown by the rightest column of Table 2.

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

Table 2 – Valve level faults permitted during type tests

Number of valve levels tested	Number of valve levels permitted to become short or open circuited in any one type test	Total number of valve levels permitted to become short or open circuited in all type tests	Additional number of valve levels, in all type tests, which have experienced a fault but have not become short or open circuited
Up to 33	1	1	1
34 to 67	1	2	2
68 to 100	1	3	3
> 100	2	4	4

5 List of tests

List of tests is given in the middle column of Table 3.

Table 3 – List of type tests

Test	Clause or subclause	Test object
Operational type tests		
Maximum continuous operating duty test	6.4	Valve or valve section
Maximum temporary overload operating duty test	6.5	Valve or valve section
Minimum start voltage test	6.6	Valve or valve section
Overcurrent turn-off test	10	Valve or valve section
Short-circuit current test (optional)	12	Valve or valve section
Dielectric type tests		
Valve support DC voltage test	7.3.1	Valve support
Valve support AC voltage test	7.3.2	Valve support
Valve support lightning impulse test	7.3.3	Valve support
MVU AC voltage test	8.4.1	MVU
MVU DC voltage test	8.4.2	MVU
MVU lightning impulse test	8.4.3	MVU
Valve AC voltage test	9.4.1.2	Valve or valve section
Valve AC-DC voltage test	9.4.1.3	
Valve switching impulse test	9.4.2	
Test for valve insensitivity to electromagnetic disturbance		
Test for valve insensitivity to electromagnetic disturbance	11	Valve or valve section
Production tests		
Visual inspection	13.5.1	
Connection check	13.5.2	
Voltage-grading circuit check	13.5.3	
Control, protection and monitoring circuit checks	13.5.4	
Voltage withstand check	13.5.5	
Turn-on/turn-off check	13.5.6	
Pressure test	13.5.7	

6 Operational tests

6.1 Purpose of tests

The principal objectives of the operational tests are

- to check the adequacy of the IGBT/diode level and associated electrical circuits in a valve with regard to current, voltage and temperature stresses in the conducting state, blocking state, de-blocked state, at turn-on and turn-off under the worst repetitive stress conditions, and
- to demonstrate correct interaction between valve electronics and power circuits of the 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. For switch type converter valves, the tests specified in 6.2 are valid for valve sections containing five or more

series-connected valve 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. For controllable voltage source type converter valves, the valve section shall consist of three or more series-connected valve levels.

NOTE For controllable voltage source type converter valves, each submodule is independent voltage controlled. So the number of test levels during one test run can be smaller in comparison with switch type converter valve.

The valve or valve sections under test shall be assembled with all auxiliary components. When required, a proportionally scaled valve arrester, if any, 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 DC capacitance, the DC capacitance and its connections to the semiconductor devices are an integral part of the test object.

However, for switch type converter valves, where the DC capacitor is separate from the valve, the DC capacitor needs to be correctly represented in the test circuit. In particular, the series stray inductance in the connections between the DC 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.

In order to reproduce correct heating effects, the operational test should be performed at the service frequency. When the service frequency is different from the test frequency, then the test conditions shall be adjusted so as to approximately compensate the difference in frequency dependent losses as necessary to demonstrate the proper stressing of the equipment.

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 STATCOM valves:

- maximum continuous insulated gate bipolar transistors (IGBT) junction temperatures;
- maximum continuous free-wheeling diodes (FWDs) junction temperatures;
- maximum continuous snubber component temperatures;
- where snubbers are used, maximum continuous turn-on and turn-off voltage and current.

For diode valves:

- maximum continuous diode junction temperature;
- where snubbers are used, 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 AC 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 test current, in RMS value, shall incorporate a test safety factor of 1,05.

In principle, the test voltage U_{tpv1} corresponding to the maximum continuous operating AC voltage shall be determined as follows:

$$U_{tpv1} = U_{max} \times k_n \times k_1$$

where

U_{max} is the maximum continuous operating AC voltage;

k_n is a test scaling factor according to 4.3.1;

k_1 is a test safety factor;

$k_1 = 1,05$.

NOTE Test voltage for MMC valves can be defined by the operating voltage of the submodule capacitor. A test safety factor of 1,05 is applied to the test voltage for MMC valves.

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

6.5 Maximum temporary overload operating duty test

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

The test current shall be the specified overload current without a test safety factor.

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 overload 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 as a test safety factor.

After the temporary overload operation duty test, 10 min maximum continuous operating duty test shall be performed as in 6.4.

6.6 Minimum start 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 or valve energy storage capacitor.

The test voltage U_{min} is defined as:

$$U_{min} = \frac{N_{tut}}{N_t} \times U_{acmin} \times k_2$$

where

- U_{acmin} is the minimum AC voltage appearing between valve terminals which can start de-blocking operation of the valve;
- N_{tut} is the number of series-connected valve levels under test;
- N_t is the total number of series-connected valve levels in a single valve, including redundancy;
- k_2 is a test safety factor;
- $k_2 = 0,95$.

For minimum start voltage test, only the voltage, neither the current nor the test duration, is important. The test shall show that the valve electronics can start up and work properly.

7 Dielectric tests on valve support

7.1 Purpose of tests

The principal objectives of these tests are the following.

- 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.
- To verify that the partial discharge inception and extinction voltages are above the maximum operating voltage appearing on the valve support.

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 conditions ~~for the purpose of the test~~, except for flow rate, which can be reduced.

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

7.3.1 Valve support DC voltage test

This test is applicable only to those designs in which the valve support is exposed to DC voltage in service.

The two main terminals of the valve shall be connected together and the DC 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 as fast as possible, 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 60700-1:2015.

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.

Where possible, the test voltage shall be increased from 50 % to the maximum voltage level within approximately 10 s; longer time may be used. However, this can overstress the test object.

If an increasing trend in the magnitude or rate of partial discharge is observed, the test duration may be extended until equilibrium partial discharge is achieved.

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

Before repeating the test with opposite polarity, the valve support may be short-circuited and earthed for several hours. The same procedure may be followed at the end of the DC voltage test.

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

1 min test:

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

3 h test:

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

where

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

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

k_3 is a test safety factor;

$k_3 = 1,1$;

k_t is the atmospheric correction factor according to 4.2.

7.3.2 Valve support AC voltage test

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

Starting from a voltage not higher than 50 % of the maximum test voltage, the voltage shall be raised to the specified 1 min test voltage, kept constant for 1 min, reduced to the specified 10 min test voltage, kept constant for 10 min and then reduced to zero.

Before the end of the 10 min test, the level of partial discharge shall be monitored and recorded over a 1 min period. If the value of partial discharge is below 200 pC, the design may be accepted unconditionally. If the value of partial discharge exceeds 200 pC, the test results shall be evaluated.

The RMS value of the valve support AC test voltage U_{tas} shall be determined in accordance with the following:

1 min test:

$$U_{tas} = \frac{U_{mS1}}{\sqrt{2}} \times k_4 \times k_t$$

10 min test:

$$U_{\text{tas}} = \frac{U_{\text{mS2}}}{\sqrt{2}} \times k_4$$

where

- U_{mS1} is the peak value of maximum voltage appearing on the valve support in service, particularly in system fault condition and valve fault operation condition. The overvoltage limiting effect of phase arrester or other overvoltage protection means, if any, shall be taken into account to derive this overvoltage;
- U_{mS2} is the peak value of voltage across the valve support in maximum steady-state continuous operations;
- k_4 is a test safety factor of 1,3 for the 1 min test and 1,15 for the 10 min test;
- k_t is the atmospheric correction factor of the value according to 4.2 for the 1 min test.

7.3.3 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 60060-1 shall be used.

~~The peak value of the test voltage is the standard lightning impulse withstand voltage according to IEC 60071-1:2006, Table 2 or 3.~~

The peak test voltage shall be selected in accordance with the insulation co-ordination of the STATCOM valve substation or selected from the standard lightning impulse withstand voltage according to IEC 60071-1:2019, Table 2 or Table 3. When the latter is used, the transformer secondary side (converter side) highest phase-to-phase voltage, instead of the STATCOM valve highest voltage, shall be used as the highest equipment voltage to select the corresponding lightning impulse peak.

8 Dielectric tests on multiple valve unit (MVU)

8.1 General

Clause 8 is only applicable if more than one valve is installed in a common valve structure (multiple valve units). In the case where each individual valve is mounted in one or several dedicated valve structures, Clause 8 is not applicable.

8.2 Purpose of tests

The principal objectives of these tests are

- to verify the voltage withstand capability between single valves in a MVU structure, and
- to verify that the partial discharge levels are within specified limits.

8.3 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.~~ The coolant shall be in a condition representative of the most onerous service conditions, except for flow rate, which can be reduced.

It can be necessary to have to short-circuit individual valves depending on the configuration of the MVU and the objectives of the test.

8.4 Test requirements

8.4.1 MVU AC voltage test

If a MVU experiences AC or composite AC plus DC 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 AC 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 10 min value, kept constant for 10 min and then reduced to zero.

Before the end of the 10 min test, the level of partial discharge shall be monitored and recorded over a 1 min period. If the value of partial discharge is below 200 pC, the design may be accepted unconditionally. If the value of partial discharge exceeds 200 pC, the test results shall be evaluated.

The RMS value of MVU AC test voltage U_{tam} shall be determined in accordance with the following:

1 min test:

$$U_{\text{tam}} = \frac{U_{\text{mmp}}}{\sqrt{2}} \times k_5 \times k_t$$

10 min test:

$$U_{\text{tam}} = \frac{U_{\text{mms}}}{\sqrt{2}} \times k_5$$

where

U_{mmp} is the peak value of the maximum voltage, after taking into account the surge arrester, if any, protection effect, between adjacent valves at system fault;

U_{mms} is the peak value of the maximum voltage between adjacent valves of the MVU at steady state operation;

k_5 is a test safety factor of 1,3 for the 1 min test and 1,15 for the 10 min test;

k_t is the atmospheric correction factor of the value according to 4.2 for the 1 min test.

8.4.2 MVU DC voltage test

MVU DC voltage is generally not needed. For design of valves where DC voltage can exist on MVU, test shall be performed according to IEC 62501.

8.4.3 MVU 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 60060-1 shall be used.

~~The peak value of the test voltage is the standard lightning impulse withstand voltage according to IEC 60071-1:2006, Table 2 or 3.~~

The peak test voltage shall be selected in accordance with the insulation co-ordination of the STATCOM valve substation or selected from the standard lightning impulse withstand voltage according to IEC 60071-1:2019, Table 2 or Table 3. When the latter is used, the transformer secondary side (converter side) highest phase-to-phase voltage, instead of the STATCOM valve highest voltage, shall be used as the highest equipment voltage to select the corresponding lightning impulse peak.

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 (DC, AC and switching impulse overvoltages). The tests shall 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, where applicable, have sufficient power rating, ~~and~~.
- ~~d) the valve electronic circuits behave as expected.~~

~~It should be noted that~~ The tests described in Clause 9 are based on standard waveshapes and standard test procedures as developed for the testing of high-voltage AC 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 valves. On the other hand, it must be recognized that a particular STATCOM 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, if provided.

If valve section is used as test object, the minimum number of valve levels ~~should~~ shall be representative of a complete valve in terms of dielectric stresses.

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 methods

9.3.1 General

Performing the valve dielectric test presents considerable practical difficulties on valves of the controllable voltage source type because of the high current drawn by the in-built capacitance. For this reason, the following valve dielectric test methods are acceptable.

9.3.2 Method 1

Temporary substitution of a reduced capacitance but the same physical size test capacitor is permissible. This test capacitor shall allow a test voltage build-up across the test object during test.

It may be necessary too to disable gate electronics or other auxiliary circuits in this test, or provide independent means for powering them, in order to prevent interference with partial discharge measurement, for example, from gate unit power supply circuits. In this case, the active voltage control function, if any, provided by gate electronics on each IGBT level is allowed to being represented by other means, for example, high resistance shunt resistors across test IGBT levels.

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

9.3.3 Method 2

Valve dielectric test is done by two steps.

Step one focuses on the component level and step two on the valve or valve section. In step one, module levels are tested independently. In step two, the test is done with submodule levels short-circuited, interconnections between adjacent submodules removed and valve or valve section voltage distribution controlled by an external grading circuit, for example a resistor array, capacitor array or RC array. Insulation and partial discharge tests with AC, DC and/or combined AC-DC voltage shall be performed on sub-component level (e.g., without power module electronics activated and without capacitor) or on full submodule level. The aim is to test both insulation withstand capability for every single sub-component and proofness of partial discharge for every sensitive point within the valve level.

NOTE Atmospheric correction to the specific test voltages can be added in step two.

9.4 Test requirements

9.4.1 Valve AC voltage or AC-DC voltage test

9.4.1.1 General

This test consists of a short-duration test followed by a long-duration test. The short-duration test reproduces the AC voltage or composite AC-DC voltage resulting from certain converter or system faults.

NOTE A composite AC-DC test applies to the valve that is terminated between one DC terminal and one AC phase similar to an HVDC converter.

This test consists of 10 s short-duration and 30 min long-duration voltage test.

This test can be done either by one combined test or by separated short-duration test and long-duration test.

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 voltage as fast as possible, reduced to the specified 30 min test voltage if combined test is performed, or zero if separate test is performed, kept constant for 30 min and then reduced to zero.

Where a separate test is performed, the long-duration test shall be performed after the short-duration test. In long-duration test, starting from a voltage not higher than 50 % of the 30 min test voltage, the voltage shall be ramped up to 30 min test voltage, kept constant for 30 min and then reduced to zero.

For partial discharge measurement, the peak value of the periodic partial discharge recorded during the last minute of the 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.

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

If an increasing trend in the rate or magnitude of partial discharge is observed, the test duration may be extended until equilibrium partial discharge is achieved.

9.4.1.2 Valve AC voltage test

This test is applicable only to valves which are terminated ~~directly~~ to two AC phases or between one AC phase and neutral.

The RMS value of valve AC test voltage U_{tv} shall be determined in accordance with the following:

10 s test:

$$U_{tv} = \frac{U_{tac1}}{\sqrt{2}} \times k_o \times k_6$$

30 min test:

$$U_{tv} = \frac{U_{tac2}}{\sqrt{2}} \times k_o \times k_6$$

U_{tac1} is the peak value of maximum voltage across valve during operation, including valve de-blocking and blocking operation in system temporary overvoltage condition. The limiting effect of valve voltage control function and valve arrester, if any, shall be taken into account to derive the overvoltage in service condition;

U_{tac2} is the maximum value of the peak steady-state operating voltage appearing across the valve, including switching overshoot;

k_o is a test scaling factor according to 4.3.2;

k_6 is a test safety factor of 1,10.

9.4.1.3 Valve AC-DC voltage test

This test applies to the valve that is terminated between one DC terminal and one AC phase.

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

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

Alternatively, a separate DC voltage source can be used to substitute the capacitor.

The ~~RMS value of valve AC-DC~~ valve test voltage U_{tv} shall be determined in accordance with the following:

10 s test:

$$U_{tv} = (k_{c1} \times U_{tac1} \times \sin(2\pi ft) + U_{tdc1}) \times k_o \times k_7$$

30 min test:

~~$$U_{tv} = U_{tac2} + U_{tdc2}$$~~

~~$$U_{tac2} = \frac{\sqrt{2} \times U_{\max-\text{cont}} \times \sin(2\pi ft)}{\sqrt{3}} \times k_{c2} \times k_o \times k_7$$~~

~~$$U_{tdc2} = U_{d\max} \times k_o \times k_7$$~~

$$U_{tv} = \left(\frac{k_{c2} \times \sqrt{2} U_{\max-\text{cont}} \times \sin(2\pi ft)}{\sqrt{3}} + U_{d\max} \right) \times k_o \times k_7$$

where

- U_{tac1} is the peak value of maximum voltage across valve during operations, including valve de-blocking and blocking operation in system temporary overvoltage condition. The limiting effect of valve voltage control function and valve arrester, if any, shall be taken into account to derive the overvoltage in service condition;
- U_{tdc1} is the maximum transient DC component overvoltage across valve. The limiting effect of valve arrester or pole arrester can be taken into account to derive the overvoltage in service condition;
- $U_{\max-\text{cont}}$ is the maximum steady-state phase-to-phase voltage on the AC system or the valve side of the transformer, if a converter transformer is used in between AC system and converters;
- $U_{d\max}$ is the maximum value of the DC component of the steady-state operating voltage of the DC side;
- k_{c1} is the voltage step overshoot factor related to one output voltage step of the converter, under the condition consistent with that used to define U_{tac1} . For a MMC or cascaded two-level (CTL) type converter, the voltage step overshoot factor relates to the overshoot factor of one cell or submodule;
- k_{c2} is the voltage step overshoot factor related to one output voltage step of the converter, under the condition consistent with that used to define U_{tac2} ;
- k_o is a test scaling factor according to 4.3.2;
- k_7 is a test safety factor of 1,10;
- f is the test frequency, Hz ~~(50 Hz or 60 Hz depending on test facilities)~~;
- t is the time variable, s.

The use of a capacitor instead of a DC source in the test circuit shall be agreed by manufacturer as the test voltage is higher than actual value.

9.4.2 Valve switching impulse test

The following ~~should~~ shall be taken into account during valve switching impulse test.

- Influence of valve phase reactor and valve energy storage capacitor to impulses.
- The impulse test will be applied only in one polarity for the valve with a half-bridge design. This is the valve voltage withstand polarity. For the valve with a full-bridge design, the test shall be done on both positive and negative polarities.
- If the valve impulse withstand levels are equal to or less than the valve AC or AC-DC voltage test level, it is deemed that the valve AC or AC-DC voltage test can cover the impulse tests and consequently the impulse tests can be omitted.

A standard switching impulse voltage waveshape in accordance with IEC 60060-1 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:

$$U_{tsv} = SIPL_v \times k_o \times k_8$$

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_8 is a test safety factor of 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.

$$U_{tsv} = U_{cms} \times k_o \times k_9$$

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_9 is a test safety factor of 1,15.

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

NOTE Same as AC voltage test or AC- DC voltage test performing, the valve switching impulse test presents considerable practical difficulties on valves of the controllable voltage source type because of the large in-built capacitance. The test facility has difficulty in generating the switching impulse voltage. For this reason, the test methods described in 9.3 are applicable here as well.

10 IGBT overcurrent turn-off test

10.1 Purpose of test

The principal objective is to check the adequacy of the STATCOM 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. Depending on the control and protection strategy, more than one test may be required in order to reproduce all relevant stresses.

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

10.2 Test object

~~As~~ Test object is described in 6.2. In case of controllable voltage source type VSC valves, this test may also be performed on valve level. However, certain protection or monitoring circuits shall be represented if they 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 IGBTs (see 6.4) and then initiating an overcurrent event. The control and protection system then detects the overcurrent and suppresses the overcurrent by the valve protective blocking, i.e. by turning off the IGBTs at a current below the maximum safe turn-off limit.

The DC voltage, U_{tpv2} , during the test shall be determined as follows:

$$U_{tpv2} = U_{dtemp} \times k_n \times k_{10}$$

where

U_{dtemp} is the maximum temporary DC overvoltage;

k_n is a test scaling factor according to 4.3.1;

k_{10} is a test safety factor;

$k_{10} = 1,05$.

Test voltage for MMC valves shall be defined by the operating voltage of the submodule capacitor; it shall incorporate a test safety factor of 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~~ shall be representative of the service condition, particularly in terms of current rate-of-rise di/dt .

11 Tests for valve insensitivity to electromagnetic disturbance

11.1 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 9.4.2) 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, and
- 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 document, 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 document.

11.2 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 11.3. In this case, the test object will be a separate valve or valve section according to the approach adopted.

11.3 Test requirements

11.3.1 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.

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

11.3.2 Approach 1

Approach 1 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.

11.3.3 Approach 2

Approach 2 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.

11.3.4 Acceptance criteria

The criteria for acceptance for both approaches 1 and 2 shall be as defined in 11.1.

12 Short-circuit current test ~~(optional)~~

12.1 Purpose of tests

This test is for the valve without fault current switching function and applicable only for the valves with a common DC-link.

The principal objective is to check the adequacy of the devices, especially the diodes, any additional components used to protect the diodes (such as bypass thyristors) and the associated electrical circuits with regard to current stresses under specified short circuit conditions, for example DC energy storage capacitor terminal to terminal short-circuit fault, until the control and protection circuit breaks the fault current. The STATCOM valves ~~should~~ shall be designed to withstand the short-circuit overcurrent for the number of cycles needed to open the main AC circuit breaker, without any failure or damage in the equipment, considering also that a possible recovery voltage could appear. ~~The test should normally be performed with the valve electronics initially energized, unless the short-circuit current can occur under conditions where the valve is de-energized (for example due to the inrush current when the converter breaker is closed at start-up).~~ Valve electronics shall normally be energized for the part of the fault event where any actions are taken by it, for example, when blocking the IGBTs or turning on protective devices such as bypass thyristors. For other parts of the fault event, it is not necessary to energize the valve electronics.

12.2 Test object

As described in 6.2.

NOTE Subject to agreement between purchaser and supplier, this test can be done on component level instead of valve or valve section.

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

The fault current amplitude, duration and the number of cycles ~~should~~ shall 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.

13 Production tests

13.1 General

Clause 13 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.

13.2 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 valve levels (as appropriate) have adequate voltage withstand capability, and
- consistency and uniformity in production is achieved.

13.3 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.

13.4 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 Clause 13, 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 13.5. The order in which the tests are listed implies neither ranking of importance nor the order in which the tests should shall be performed.

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 shall be agreed on a case-by-case basis.

13.5 Production test objectives

13.5.1 Visual inspection

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

13.5.2 Connection check

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

13.5.3 Voltage-grading circuit check

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

13.5.4 Control, protection and monitoring circuit checks

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.

13.5.5 Voltage withstand check

Check that the valve components can withstand the voltage corresponding to the maximum value specified for the valve. The checks shall include AC test voltage or DC voltage or AC-DC combination. Annex B includes information on valve component fault tolerance.

13.5.6 Turn-on/turn-off check

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

13.5.7 Pressure test

Check that there are no coolant leaks.

14 Presentation of type test results

The test report shall include the following information:

- name and address of the laboratory and location where the tests were carried out;
- unambiguous identification of the test object, including type and ratings, serial number and any other information aimed to identify the test object;
- tester, counter signature and date of performance of the test;
- 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.

Annex A (informative)

Overview of STATCOM valves

A.1 General

A rapid development of modern semiconductor switches has enabled also the development of power electronics technology in general. In addition to diodes and thyristors, also turn-off semiconductor devices such as metal-oxide-semiconductor field effect transistors (MOSFETs), gate turn-off thyristors (GTOs) gate commutated thyristors (GCTs), integrated gate commutated thyristors (IGCTs) and insulated gate bipolar transistors (IGBTs) are now utilised in various converter types of DC-DC, DC-AC, AC-DC and AC-AC power conversion.

Along with this power electronics evolution, the amount of applications where these converters are used has been increased: they are used in wide range of applications such as switched mode power supplies, motor drives, HVDC-systems. One of the applications is the power conditioning, where static synchronous compensators (STATCOM) are one of the most modern devices.

Basically, the main circuit of STATCOM consists of two-, three- or multi-level converter. With two- and three-level converters, the STATCOM includes a converter bridge that enables bi-directional power flow and a capacitor connected on its DC side serving as an energy storage component. With multi-level converters, the STATCOM typically consists of a number of small bridge converters, each with its own DC energy storage, connected in series between AC phases or from an AC phase to neutral.

Annex A presents the basic operation principles of the STATCOM. However, it is emphasised that a detailed treatment of all possible details, such as all variations in STATCOM valve topologies, are beyond the scope of this document. The purpose of Annex A is only to present a brief overview about basic features of the STATCOM and the converters used within.

A.2 STATCOM applications and operating limits

The compensation power of STATCOM is generally from couple of MVAs to couple of hundreds of MVAs and its control principle is chosen based on the target of its operation. On one hand, STATCOMs are used in utility applications, where the purpose is to support the supply grid voltage. In here, STATCOM is typically used for voltage regulation, power factor correction or reactive power compensation. On the other hand, STATCOMs can be used in industrial applications where the aim is to protect the supply grid against the disturbances generated by a large load. Typical control targets in this case are balancing of unsymmetrical phases, flicker control or filtering of harmonics.

The basic operating principle of the STATCOM is essentially different from static var compensator (SVC), which is also used in reactive power compensation. Since STATCOM is based on the utilisation of turn-off semiconductor switches, its response speed is remarkably faster. In addition to this, since a DC storage is always a part of STATCOM converter, its compensation characteristics are not so dependent on the supply grid characteristics as is the case with SVC.

Figure A.1 presents the principal $U-I$ characteristics of the STATCOM. It is noticed that STATCOM is able to generate full compensation current with very low supply grid voltage. In theory, grid voltage can even be close to zero. However, in this case, STATCOM would need external power source on DC side to compensate its losses and to maintain DC side voltage at required level.

Without external power source, it is necessary for STATCOM to draw also active power from the supply grid in order to maintain DC voltage at required level. Since this has to be done without exceeding current rating of the STATCOM converter, the minimum grid voltage for its operation is typically between 0,2 p.u. and 0,4 p.u. When the voltage is higher than this, STATCOM is able to generate full output current independently on the grid voltage level. Therefore, the maximum reactive power generated or drawn by the STATCOM is only linearly dependent on the grid voltage level, whereas in the case of SVC it is dependent on the second power of grid voltage.

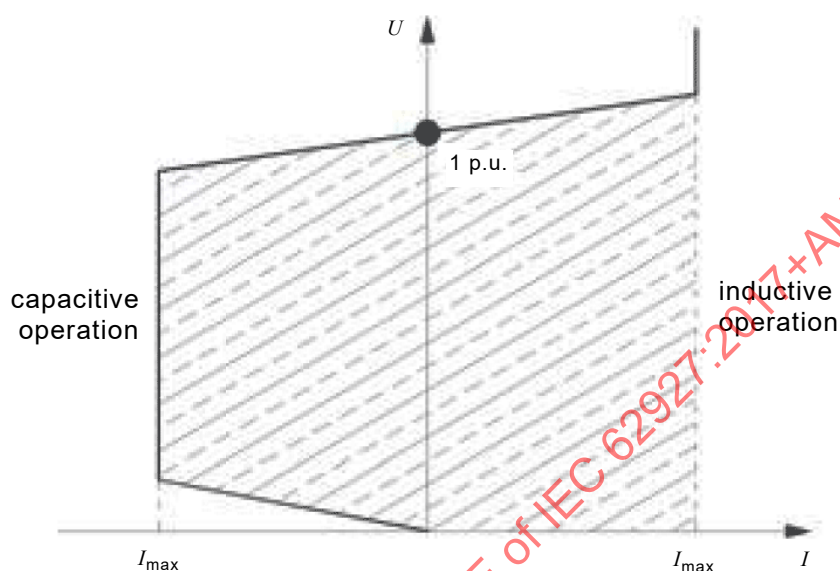


Figure A.1 – STATCOM U - I characteristics

A.3 Overview of STATCOM valve types

There are several three-phase, two-, three-, or multilevel converter types which can be used to make a STATCOM. These are well described in literature and it is far beyond the scope of this document to present them all. However, the basic function block of STATCOM, a STATCOM valve, can be identified in all of these topologies. All STATCOM valves fall into one of the two following categories:

- STATCOM valves of the switch type: these switch type valves function only as a controllable switch with only two permanent states: on and off. In converters based on this topology, the DC capacitors are completely separated from the valves and can be tested in isolation;
- STATCOM valves of the controllable voltage source type: in valves of this type, the DC capacitors form an integral part of the valve and cannot be separated from it for testing purposes.

A.4 STATCOMs based on switch type valve

A.4.1 General

STATCOM valves of this type bear close apparent resemblance to conventional thyristor valves, in that they consist 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 the low number of output levels, such converters usually use pulse width modulation (PWM) switching scheme 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 STATCOM valve are described in A.4.2 to A.4.4.

A.4.2 Two-level converter

In the simplest case, the STATCOM is based on two-level converter. Two-level converter is shown in Figure A.2. Each of its phase units consists only of two STATCOM valves connected in series and sharing an AC terminal.

The two valves (e.g. V1 and V2 in Figure A.2) are switched alternatively such that, at any given time, either one or other valve is conducting, but never both (in practice, there is usually a short dead-time between switching of two valves). When V1 is conducting, the AC terminal is connected to upper DC terminal and therefore produces an output voltage $+\frac{1}{2}U_{dc}$. When V2 is conducting, the AC terminal is connected to the lower DC terminal and therefore produces an output voltage $-\frac{1}{2}U_{dc}$. Therefore, there exist two possible voltage levels, $\pm\frac{1}{2}U_{dc}$, between the AC terminal and the mid-point of the DC capacitors.

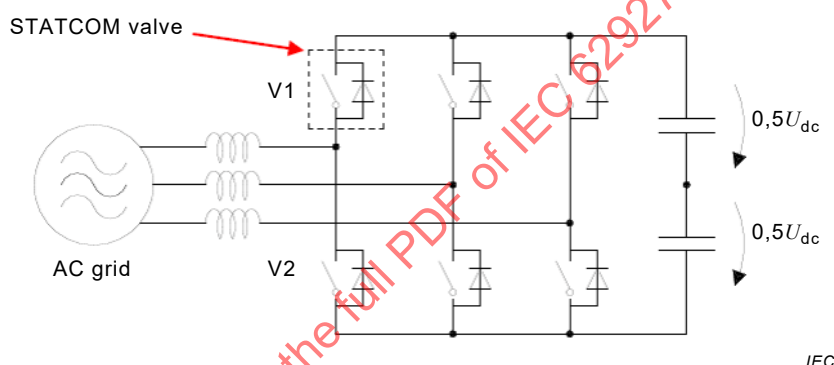


Figure A.2 – Two-level converter

A.4.3 Three-level converters

Three-phase, three-level neutral point clamped (NPC) converter is shown in Figure A.3. In the phase unit of this converter, four independent STATCOM valves are connected in series (e.g. V1 to V4 in Figure A.3). The AC 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 DC midpoint via diode valves.

When valves V1 and V2 are conducting, the AC terminal is connected to the upper DC terminal and therefore produces an output voltage of $+\frac{1}{2}U_{dc}$. When valves V3 and V4 are conducting, the AC terminal is connected to the lower DC terminal and therefore produces an output voltage of $-\frac{1}{2}U_{dc}$. When valves V2 and V3 are conducting, the AC terminal is "clamped" to the DC side midpoint potential by the diode valves. Due to this, there exist three possible voltage levels, 0 V and $\pm\frac{1}{2}U_{dc}$, between the AC terminal and the mid-point of the DC capacitors.

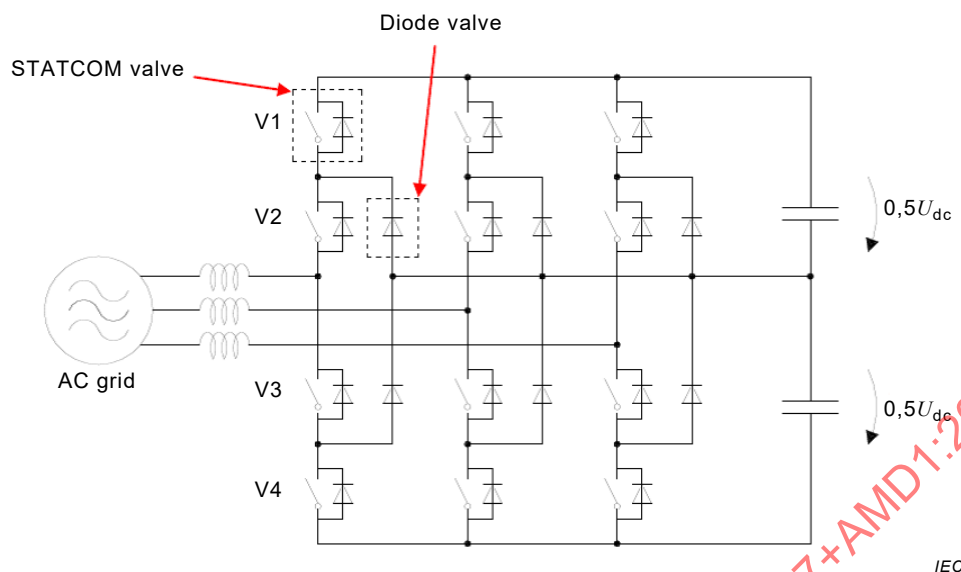


Figure A.3 – Three-level NPC converter

Figure A.4 presents a three-phase, three-level flying capacitor converter. This circuit achieves the same result as the NPC converter by different method. Instead of using diode valves to clamp the output phase voltage to one of the intermediate DC capacitor stages, it uses an additional DC capacitor, which is isolated from the DC terminals and hence floating, or "flying", to achieve similar operation.

The flying capacitor, which is connected between the terminals shared by V1/V2 and V3/V4, has a nominal voltage of $\frac{1}{2}U_{dc}$. As with NPC converter, the valves are switched in pairs but the pattern to achieve zero output voltage is different. To achieve an output voltage of 0 V, either valves V1 and V3 or valves V2 and V4 are switched on. It is illegal to switch on V2 and V3 simultaneously as this would short-circuit the flying capacitor.

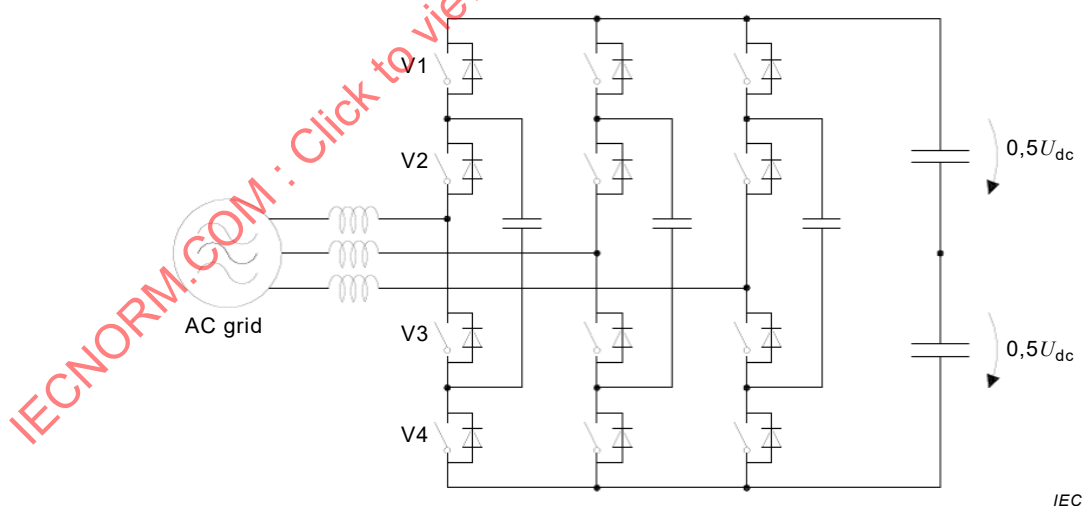


Figure A.4 – Three-level flying capacitor converter

A.4.4 Multi-level converters

The principles used in case of three-level converters may be extended to create converters with higher amount of levels. This is done by subdividing DC capacitor further and using more STATCOM valves and diode valves. For example, in five-level NPC converter, DC capacitor is subdivided into four discrete stages, and there are eight STATCOM valves and six diode

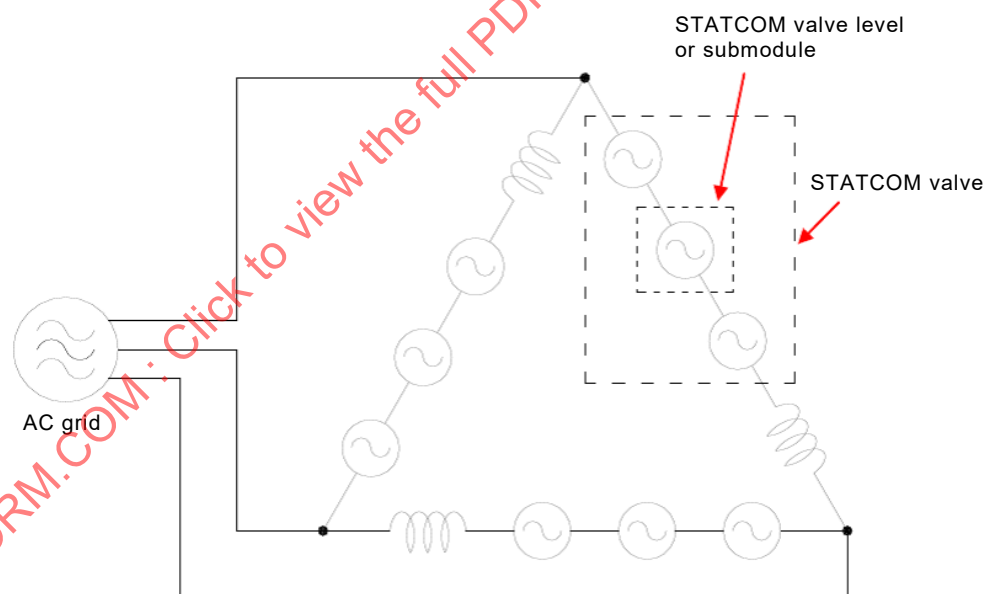
valves per phase. In this case, there exist five possible voltage levels, 0 V, $\pm\frac{1}{4}U_{dc}$ and $\pm\frac{1}{2}U_{dc}$, between the AC terminal and the mid-point of the DC capacitors.

Output voltage levels can further be increased with both NPC converter and flying capacitor converter. However, it has to be noticed that the complexity of the circuit increases in respect of voltage levels. Presenting converters with higher numbers of output voltage levels more closely is beyond the scope of this document.

A.5 STATCOMs based on controllable voltage source type valve

In the two-level converter (presented in Figure A.2), the valves and DC capacitor are clearly separated items of equipment and can be designed and tested in isolation. However, as the number of output voltage levels is increased, the DC capacitor(s) become increasingly subdivided and DC capacitors become increasingly inter-dependent. When the number of levels is further increased, the subdivision of the DC 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 STATCOM valve to be not simply the IGBT elements that perform the switching, but also the distributed DC capacitors. Because of this, such a valve is no longer simply a switch but is rather a controllable voltage source.

A modular multi-level converter (MMC) is shown in Figure A.5. In this case, the STATCOM valve consists of series-connected voltage sources (i.e. STATCOM valve levels or submodules). Although circuit in Figure A.5 is delta-connected and comprises of three valve levels per phase, converter may as well be star-connected and include any amount of valve levels.



IEC

Figure A.5 – Modular multilevel converter

In converters used in STATCOM applications, each STATCOM valve level consists generally of single-phase full-bridge converter (also known as "H-bridge converter"), presented in Figure A.6. This converter is capable of producing three output voltage levels: 0 V when V1 and V3 or V2 and V4 are conducting, $+U_{dc}$ when V1 and V4 are conducting, and $-U_{dc}$ when V2 and V3 are conducting.

However, when these full-bridge converters are connected in series as in Figure A.5, more levels to output voltage are achieved: the valve that consists of n valve levels can generate

$2n + 1$ voltage levels in its output. Therefore, when a large number of valve levels is used, an output voltage which is very close to sinusoidal waveform can be applied even without using PWM-operation in switching devices.

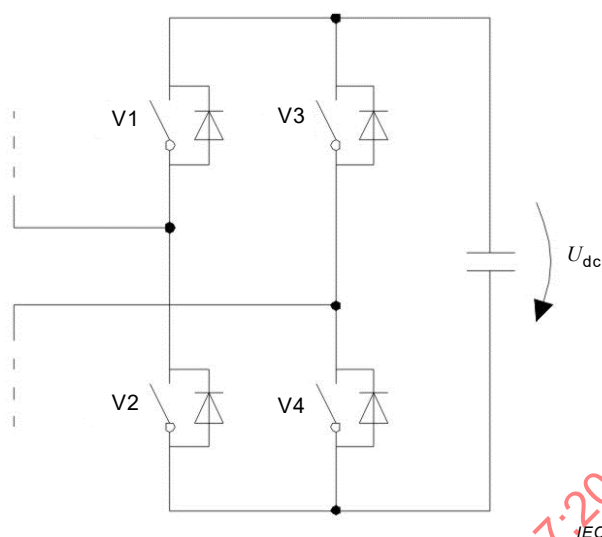


Figure A.6 – Single-phase full-bridge converter

A.6 Valve switching principles

There are two basic switching schemes for STATCOM valves depending on their valve type and number of valve levels.

In case of switch type converters, the number of converter output voltage levels is usually so low that acceptable approximation of sinusoidal output voltage reference is not reached by switching the switching components at fundamental frequency. However, by employing pulse width modulation (PWM) switching scheme, where the valves are switched with remarkably higher frequency than fundamental, it is possible to obtain an output voltage that is, after filtering, reasonably sinusoidal. In Figures A.7 a) and A.7 b) are shown two cases, where the valves of two-level converter are switched with fundamental frequency and by using PWM switching scheme.

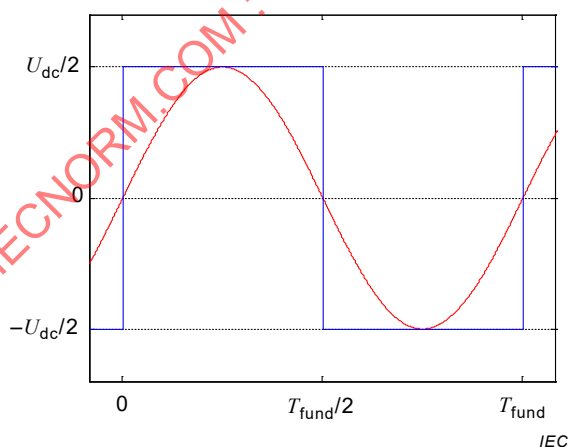


Figure A.7 a) – Two-level converter output without PWM

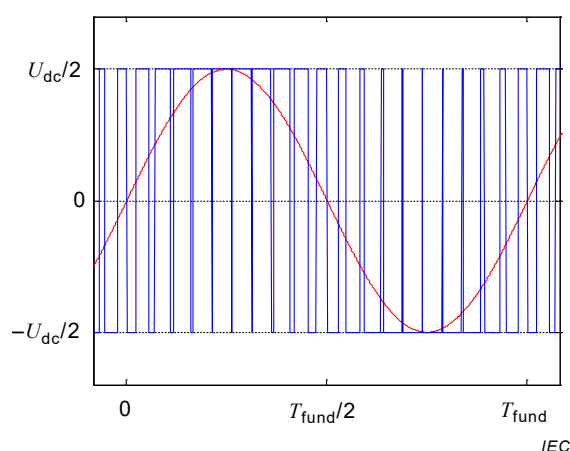


Figure A.7 b) – Two-level converter output with PWM

Figure A.7 – Two-level converter output voltage

As the number of converter output voltage levels is increased, the output voltage becomes closer to sinusoidal voltage reference. The output voltage shape of three-level converter is presented in Figure A.8 a) without applying PWM switching scheme. Although more sinusoidal than for the two-level converter in Figure A.7 a), this converter output voltage is still not sinusoidal enough, i.e PWM switching scheme and filtering is required in real STATCOM operation using a three-level converter.

When the number of valve levels is further increased, appliance of switch type converters will become impractical due to their complexity. In this case, converters with controllable voltage source type valves are more convenient solution. The outputs of such converters are close to sinusoidal even without using PWM switching scheme in STATCOM valves. In this case, only light or no filtering is needed. Figure A.8 b) presents the output voltage waveform of MMC with five submodules. It can be seen that in this case the output voltage is closer to sinusoidal as it consists of 11 levels.

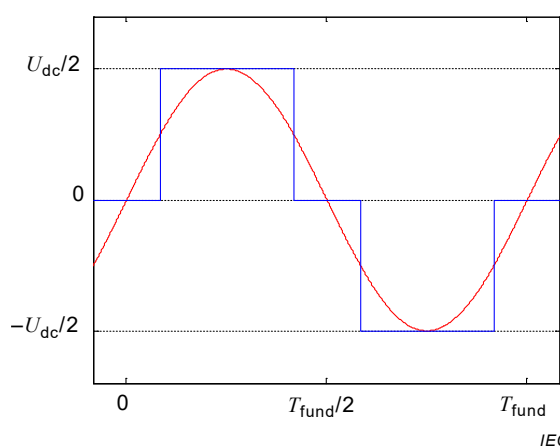


Figure A.8 a) – Three-level converter output

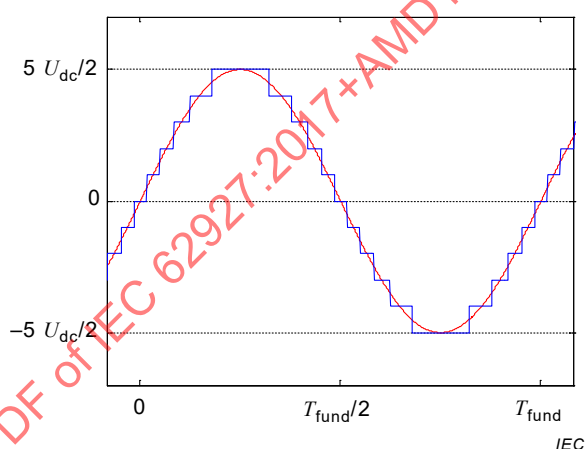


Figure A.8 b) – MMC output

Figure A.8 – Output voltage shape of three-level converter and modular multi-level converter

Annex B (informative)

Valve component fault tolerance

Fault tolerance capability may be defined as the ability of an STATCOM 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) Failure of an IGBT level
- b) Fault IGBT/valve level shall continue conducting the valve current either by IGBT itself internally or by external bypass circuit, without generation of any harmful operation conditions in service.
- c) Missing of on-gate at one valve level due to loss of normal on-gate pulses to that level
- d) Missing of on-gate leads to parallel overvoltage of the components at the affected level.
- e) Insulation failure of a snubber capacitor, snubber resistor or other components if applicable
- f) Insulation failure of any component in parallel with the switch devices or diodes can attract load current into it, leading to a hazardous condition.
- g) 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. However, experience acquired in the wet test performed on high-voltage power electronic valves indicates that the valve wet test on a new and dust free valve surface is unable to identify locations where might cause valve dielectric failure in service due to the leakage of small quantities of valve coolant

NOTE IEEE Std 857™-1996, to which the wet test is often referred to, was withdrawn in 2010.

~~h) 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.~~

Tests to demonstrate the valve component fault tolerance are not categorized as type tests since most of them are destructive tests of valve or valve components and the tests are usually done on small number of valve levels. Those tests should be done in design stage of new type of valves for compliance check of valve fault component tolerance. Supplier should document the tests and provide project related report, based on evidence in lieu, on purchasers request.

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 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

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

IEC 61954, *Static var compensators (SVC) – Testing of thyristor valves*

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

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

CIGRE, *Static Synchronous Compensator (STATCOM)*, Technical Brochure No. 144, Working Group 14.19

IEEE Std 857-1996, *IEEE recommended practice for test procedures for high-voltage direct-current thyristor valves*¹

¹ This publication has been withdrawn.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62927:2017+AMD1:2023 CSV

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	48
3.2 Termes relatifs au semiconducteur de puissance	48
3.3 Etats de fonctionnement du convertisseur	49
3.4 Termes relatifs à la construction du STATCOM	49
3.5 Termes relatifs à la structure de la valve	51
4 Exigences générales	51
4.1 Lignes directrices pour l'exécution des essais de type	51
4.1.1 Généralités	51
4.1.2 Essais diélectriques	52
4.1.3 Essais de fonctionnement	52
4.1.4 Essais de brouillage électromagnétique	52
4.1.5 Autres éléments pouvant faire office de preuve	52
4.1.6 Objet d'essai	52
4.1.7 Procédure d'essai	53
4.1.8 Température ambiante pour les essais	53
4.1.9 Fréquence des essais	53
4.1.10 Conditions à prendre en considération pour la détermination des paramètres des essais de type	53
4.1.11 Rapports d'essai	53
4.2 Facteur de correction atmosphérique	53
4.3 Traitement de la redondance	54
4.3.1 Essais de fonctionnement	54
4.3.2 Essais diélectriques	54
4.4 Dysfonctionnements de composants admissibles au cours des essais de type	54
5 Liste des essais	55
6 Essais de fonctionnement	56
6.1 Objectif des essais	56
6.2 Objet d'essai	57
6.3 Circuit d'essai	57
6.4 Contraintes maximales à reproduire durant les essais de fonctionnement en continu	57
6.5 Essai d'endurance en fonctionnement en surcharge temporaire maximale	58
6.6 Essai de tension de démarrage minimale	59
7 Essais diélectriques sur le support de valve	59
7.1 Objectif des essais	59
7.2 Objet d'essai	59
7.3 Exigences relatives aux essais	60
7.3.1 Essai de tension continue du support de valve	60
7.3.2 Essai de tension alternative du support de valve	61
7.3.3 Essai d'impulsion de foudre du support de valve	61
8 Essais diélectriques sur une unité de valve multiple (MVU)	62
8.1 Généralités	62

8.2	Objectif des essais.....	62
8.3	Objet d'essai.....	62
8.4	Exigences relatives aux essais	62
8.4.1	Essai de tension alternative de la MVU.....	62
8.4.2	Essai de tension continue de la MVU.....	63
8.4.3	Essai d'impulsion de foudre de la MVU.....	63
9	Essais diélectriques entre les bornes de la valve.....	63
9.1	Objectif de l'essai	64
9.2	Objet d'essai.....	64
9.3	Méthodes d'essai.....	65
9.3.1	Généralités.....	65
9.3.2	Méthode 1	65
9.3.3	Méthode 2	65
9.4	Exigences relatives aux essais	65
9.4.1	Essai de tension alternative ou composite alternative/continue de la valve.....	65
9.4.2	Essai d'impulsion de commutation de la valve	68
10	Essai de mise hors tension de l'IGBT en cas de surintensité.....	69
10.1	Objectif de l'essai	69
10.2	Objet d'essai.....	69
10.3	Exigences relatives à l'essai	69
11	Essais d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques	70
11.1	Objectif des essais.....	70
11.2	Objet d'essai.....	70
11.3	Exigences relatives aux essais.....	71
11.3.1	Généralités.....	71
11.3.2	Première approche	71
11.3.3	Deuxième approche.....	71
11.3.4	Critères d'acceptation.....	71
12	Essai de courant de court-circuit (facultatif)	72
12.1	Objectif des essais.....	72
12.2	Objet d'essai.....	72
12.3	Exigences relatives aux essais	72
13	Essais de production	72
13.1	Généralités	72
13.2	Objectif des essais.....	73
13.3	Objet d'essai.....	73
13.4	Exigences relatives aux essais	73
13.5	Objectifs des essais de production.....	73
13.5.1	Examen visuel	73
13.5.2	Vérification de la connexion.....	73
13.5.3	Vérification du circuit d'évaluation de la tension.....	74
13.5.4	Vérification des circuits de commande, de protection et de surveillance	74
13.5.5	Vérification de la tenue en tension.....	74
13.5.6	Vérification de la mise sous/hors tension	74
13.5.7	Essais de pression	74
14	Présentation des résultats d'essais de type	74
Annexe A (informative)	Présentation des valves de STATCOM	75

A.1	Généralités	75
A.2	Applications et limites d'exploitation d'un STATCOM.....	75
A.3	Présentation des types de valves de STATCOM	76
A.4	Valves de STATCOM de type commutateur.....	77
A.4.1	Généralités	77
A.4.2	Convertisseur à deux niveaux.....	77
A.4.3	Convertisseurs à trois niveaux.....	78
A.4.4	Convertisseurs multiniveaux	79
A.5	Valves de STATCOM de type source de tension commandable.....	79
A.6	Principes de commutation de la valve	81
Annexe B (informative)	Tolérance aux pannes des composants de valves	83
Bibliographie.....		85
Figure A.1	– Caractéristiques de la courbe $U-I$ d'un STATCOM	76
Figure A.2	– Convertisseur à deux niveaux	77
Figure A.3	– Convertisseur NPC à trois niveaux.....	78
Figure A.4	– Convertisseur à trois niveaux à condensateur volant.....	79
Figure A.5	– Convertisseur multiniveaux modulaire	80
Figure A.6	– Convertisseur monophasé en pont complet.....	80
Figure A.7	– Tension de sortie d'un convertisseur à deux niveaux	81
Figure A.8	– Forme de la tension de sortie d'un convertisseur à trois niveaux et d'un convertisseur modulaire multiniveaux	82
Tableau 1	– Nombre minimal de niveaux de valve à soumettre à l'essai en fonction du nombre de niveaux de valve par valve	52
Tableau 2	– Défauts des niveaux de valves admis au cours des essais de type	55
Tableau 3	– Liste des essais de type	56

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

VALVES DE CONVERTISSEUR SOURCE DE TENSION (VSC) POUR COMPENSATEUR SYNCHRONE STATIQUE (STATCOM) – ESSAIS ÉLECTRIQUES

AVANT-PROPOS

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

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

L'IEC 62927 édition 1.1 contient la première édition (2017-07) [documents 22F/412/CDV et 22F/431A/RVC] et son amendement 1 (2023-05) [documents 22F/699/CDV et 22F/721/RVC].

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

La Norme internationale IEC 62927 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 l'IEC: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62927:2017+AMD1:2023 CSV

VALVES DE CONVERTISSEUR SOURCE DE TENSION (VSC) POUR COMPENSATEUR SYNCHRONE STATIQUE (STATCOM) – ESSAIS ÉLECTRIQUES

1 Domaine d'application

Le présent document s'applique aux valves autocommutées, conçues pour être utilisées dans un convertisseur source de tension (VSC¹) pour compensateur synchrone statique (STATCOM). Elle se limite aux essais de type électrique et de production.

Les essais spécifiés dans le présent document sont établis pour des valves isolées à l'air. Pour les autres types de valves, les exigences relatives aux essais et les critères d'acceptation font l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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 s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

IEC 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

IEC 60071-1:2006/2019, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

IEC 60700-1:2015, *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 1: Essais électriques*

IEC 62501, *Valves à convertisseur de source de tension (VSC) pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Essais électriques*

3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

¹ VSC = valve sourced converter.

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 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 semiconducteur de puissance

3.2.1

dispositif à semiconducteur blocable

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

Note 1 à l'article: Il existe plusieurs types de dispositifs à semiconducteur blocables (p. ex.: IGBT, IGCT et GTO) qui peuvent être utilisés dans les convertisseurs source de tension pour STATCOM. Pour des raisons pratiques, le terme IGBT est utilisé tout au long du présent document pour faire référence au principal dispositif à semiconducteur contrôlable à la fermeture. Cependant, le présent document s'applique également aux autres types de dispositifs à semiconducteur blocables.

3.2.2

thyristor commandable à l'extinction

thyristor GTO

dispositif à semiconducteur blocable qui peut être réactivé et coupé à l'aide de l'électrode de commande, ou gâchette

Note 1 à l'article: Un thyristor commandable à l'extinction (thyristor GTO) est un type spécifique de thyristor, un thyristor étant un dispositif à semiconducteur à puissance élevée.

Note 2 à l'article: Le thyristor commuté à grille (GCT, *gate commutated thyristor*) et le thyristor commuté à grille intégrée (IGCT, *integrated gate commutated thyristor*) sont des types spécifiques de thyristors GTO.

Note 3 à l'article: L'abréviation "GTO" est dérivée du terme anglais développé correspondant "gate turn-off".

3.2.3

transistor bipolaire à grille isolée

IGBT

transistor de commande (ouverture et fermeture) de puissance disposant d'un canal conducteur et d'une jonction PN, dans lesquels le courant qui circule est commandé par un champ électrique émis par une tension appliquée entre les bornes de la grille et de l'émetteur

Note 1 à l'article: L'abréviation "IGBT" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Insulated Gate Bipolar Transistor".

3.2.4

diode de roue libre

DRL

dispositif à semiconducteur de puissance ayant les caractéristiques d'une diode connectée à un transistor bipolaire à grille isolée (IGBT) en antiparallèle

Note 1 à l'article: Une DRL possède deux bornes: une anode (A) et une cathode (K).

Note 2 à l'article: Le courant dans les DRL circule dans le sens opposé au courant de l'IGBT.

Note 3 à l'article: Les termes "parallèle inverse" et "antiparallèle" correspondent à un concept identique.

3.2.5

paire diode-IGBT

combinaison de l'IGBT et de la DRL connectés en antiparallèle

3.3 Etats de fonctionnement du convertisseur

3.3.1

état bloqué

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

3.3.2

état débloqué

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

3.3.3

blocage de protection de la valve

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

3.3.4

palier de tension

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

Note 1 à l'article: Pour une valve de type source de tension, une cellule en demi-pont correspond à un palier de tension et une cellule en pont complet correspond à deux paliers de tension.

3.4 Termes relatifs à la construction du STATCOM

3.4.1

STATCOM

équipement de compensation réactive shunt capable de générer et/ou d'absorber une puissance réactive, dont le courant de sortie capacitif ou inductif peut être commandé indépendamment de la tension système alternative

Note 1 à l'article: "Générateur statique de puissance réactive" (SVG, *static var generator*), "compensateur statique de puissance réactive avancé" (ASVC, *advanced static var compensator*) et "condensateur synchrone statique" (STATCON, *static synchronous condenser*) sont des termes précédemment utilisés pour désigner un STATCOM.

3.4.2

valve de STATCOM

assemblage électrique de plusieurs niveaux d'IGBT, combiné avec l'ensemble de la connectique, des composants auxiliaires et des structures mécaniques, et qui peut être connecté en série avec la bobine d'inductance de chaque phase d'un STATCOM

Note 1 à l'article: En fonction de la topologie du convertisseur, une valve peut avoir le rôle d'un commutateur commandable ou d'une source de tension commandable. Pour les convertisseurs de type source de tension commandable, la valve de STATCOM de type source de tension commandable est un assemblage complet à source de tension commandable généralement connecté entre deux phases en courant alternatif. Pour les convertisseurs de type commutateur, la valve de STATCOM de type commutateur est une combinaison d'IGBT connectés en série et configurés de manière à être commutés simultanément, comme une unité fonctionnelle simple, entre une phase en courant alternatif et une borne en courant continu du condensateur de stockage d'énergie en courant continu.

Note 2 à l'article: Pour plus de commodité, le terme "valve" est utilisé en lieu et place du terme "valve de STATCOM" dans le présent document.

3.4.3

valve à diode

valve à semiconducteur comprenant uniquement des diodes comme principaux dispositifs à semiconducteur, pouvant servir dans certaines topologies de STATCOM

3.4.4

sous-module

partie d'une valve comprenant des commutateurs et des diodes commandables connectés en demi-pont ou en pont complet, ainsi que leurs auxiliaires immédiats et condensateur de stockage, le cas échéant, où chaque commutateur commandable comporte un ou plusieurs dispositifs à valve commutés connectés en série

Note 1 à l'article: Cette définition est uniquement applicable aux convertisseurs à source de tension commandable.

3.4.5

valve de type commutateur

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

3.4.6

valve de type source de tension commandable

assemblage complet à source de tension commandable, connecté généralement entre des phases en courant alternatif ou entre une borne à courant alternatif et une borne à courant continu

3.4.7

convertisseur multiniveaux modulaire

MMC

convertisseur multiniveaux modulaire dans lequel chaque valve de VSC (voir 3.4.5, 3.4.6) est composée d'un certain nombre de blocs modules MMC (voir 3.4.9) connectés en série

Note 1 à l'article: L'abréviation "MMC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "modular multi-level converter".

3.4.8

convertisseur à deux niveaux monté en cascade

CTL

convertisseur multiniveaux modulaire dans lequel chaque position de commutateur se compose de plusieurs paires diode-IGBT connectées en série

Note 1 à l'article: L'abréviation "CTL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "cascaded two-level converter".

3.4.9

bloc module MMC

source de tension indépendante commandable à deux bornes, associée à un ou plusieurs condensateurs en courant continu et à des auxiliaires immédiats afin de former un MMC

3.4.10

niveau de valve de STATCOM

plus petite unité fonctionnelle indivisible d'une valve

Note 1 à l'article: Pour toute valve dans laquelle les dispositifs commutés sont connectés en série et manœuvrés simultanément, un niveau de valve correspond à un IGBT, y compris ses auxiliaires. Pour un type de convertisseur multiniveaux modulaire (MMC) sans IGBT connectés en série, un niveau de valve correspond à un sous-module (cellule) associé à ses auxiliaires.

3.4.11

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

3.4.12

niveaux de valve redondants

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

Note 1 à l'article: Dans les conceptions de valves qui contiennent deux chemins de conduction ou plus dans chaque cellule et comportent des niveaux de valve de VSC connectés en série dans chaque chemin, les niveaux redondants doivent être dénombrés uniquement dans un chemin de conduction de chaque cellule.

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 isolée à la tension appropriée au-dessus du potentiel de terre

3.5.2

soutien de valve

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

3.5.3

unité de valve multiple

MVU

disposition mécanique comportant au moins deux valves partageant un soutien de valve commun, le cas échéant

Note 1 à l'article: L'abréviation "MVU" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Multiple Valve Unit".

3.5.4

section de valve

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

3.5.5

électronique de commande de la valve

module électronique, au potentiel de terre, qui assure l'interface entre le système de commande du convertisseur et les valves du STATCOM

4 Exigences générales

4.1 Lignes directrices pour l'exécution des essais de type

4.1.1 Généralités

Les essais décrits s'appliquent à la valve (ou à des sections de la valve), à sa structure, aux parties du système de refroidissement, ainsi qu'aux circuits d'allumage et de surveillance contenus dans la structure de la valve (isolation interne) ou reliés entre la structure de la valve et la terre (isolation externe). D'autres équipements, tels que la commande, la protection et l'électronique de commande de la valve peuvent être essentiels pour démontrer

le fonctionnement correct de la valve au cours des essais, mais ils ne constituent pas l'objet direct de ces essais.

4.1.2 Essais diélectriques

L'objectif de ces essais est de vérifier la conception de la valve en ce qui concerne les contraintes de tension dans des conditions normales et anormales répétées ainsi que dans des conditions transitoires.

A des fins de normalisation avec d'autres équipements, les essais réalisés incluent les essais d'impulsion de foudre entre les bornes de la valve et la terre et entre les phases d'une MVU. Pour les essais effectués entre les bornes d'une valve, le seul essai d'impulsion spécifié est une impulsion de commutation.

4.1.3 Essais de fonctionnement

L'objectif de ces essais est de vérifier la conception de la valve en ce qui concerne les contraintes combinées de courant et de tension dans des conditions normales et anormales répétées ainsi que dans des conditions de défaut transitoires.

4.1.4 Essais de brouillage électromagnétique

Ces essais ont pour principal objectif de prouver l'immunité de l'intérieur comme de l'extérieur de la valve au brouillage électromagnétique.

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

4.1.6 Objet d'essai

~~Le 4.1.6 ne s'applique pas aux essais sur le support de valve ni sur les unités de valves multiples.~~ L'objet d'essai à utiliser ~~pour ces 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.

- 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.
- Le nombre minimal de niveaux de valve à soumettre à l'essai en fonction des niveaux de valve dans une valve unique est indiqué au Tableau 1.

Tableau 1 – Nombre minimal de niveaux de valve à soumettre à l'essai en fonction du nombre de niveaux de valve par valve

Nombre de niveaux de valve par valve , y compris les niveaux redondants	Nombre total de niveaux de valve à soumettre à l'essai
1 à 10	Nombre de niveaux de valve dans une valve
11 à 50	10 niveaux de valve
≥ 51	20 % des niveaux de valve dans une valve

- 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~~ doit être démontré que la valve, les sections et/ou les composants de valves ont résisté aux essais de production pour garantir une fabrication appropriée.

Le paragraphe 4.1.6 ne s'applique pas aux essais sur la structure de support de valve ni sur l'unité de valve multiple. L'objet d'essai à utiliser pour ces essais est défini en 7.2 et 8.3.

4.1.7 Procédure d'essai

Les essais doivent être effectués conformément à l'IEC 60060 (toutes les parties), le cas échéant.

4.1.8 Température ambiante pour les essais

Les essais doivent être effectués conformément à l'IEC 60060 (toutes les parties), le cas échéant.

4.1.9 Fréquence des essais

Les essais diélectriques en courant alternatif 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.

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

~~Il convient de déterminer~~ Les paramètres des essais de type doivent être déterminés sur la base des conditions de fonctionnement et de défaut les plus défavorables auxquelles la valve peut être soumise, selon les études du système.

4.1.11 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

Lorsqu'elle est spécifiée dans l'article concerné, la correction atmosphérique doit être appliquée aux tensions d'essai conformément à l'IEC 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 soumise à l'essai de la valve est établie sur les tensions de tenue assignées normalisées conformément à l'IEC 60071-1, les facteurs de correction pour les conditions sur site 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 être utilisée sans correction relative à l'altitude. Si $a_s > 1\,000$ m, la procédure normalisée conformément à l'IEC 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 ($b_{1\,000\text{ m}}$).
- Si la coordination de l'isolement de la partie soumise à l'essai de la valve n'est pas établie sur les tensions de tenue assignées normalisées conformément à l'IEC 60071-1, le facteur de correction pour les conditions sur site respecte la procédure normalisée conformément à l'IEC 60060-1 avec la pression atmosphérique de référence b_0 ($b_0 = 101,3$ kPa).

- Température: température maximale retenue pour l'air ambiant dans le bâtiment des valves, lors de la conception de la valve (°C).
- Humidité: humidité absolue minimale théorique dans le bâtiment des valves (g/m³).

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

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 :

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

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 Dysfonctionnements de composants admissibles au cours des essais de type

Concernant les applications de semiconducteur, 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 en utilisation. 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, au cours desquels leur sont appliquées des contraintes multiples qui

correspondent généralement aux contraintes les plus défavorables 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 la réussite des essais de type 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, et que les niveaux de valve présentant des dysfonctionnements n'altèrent pas le fonctionnement continu des autres valves ou sections de valves et ne dégradent pas leurs performances.

Les valves ou sections de valve doivent être vérifiées avant chaque essai, après chaque essai d'étalonnage préliminaire, puis après chaque essai de type dans le but de déterminer si certains transistors bipolaires à grille isolée (IGBT) ou composants auxiliaires ont présenté des dysfonctionnements au cours des essais. Des IGBT ou des composants auxiliaires défectueux identifiés à la fin d'un essai de type doivent être corrigés avant de procéder à des essais supplémentaires de la valve.

Si, à la suite d'un essai de type, un niveau de valve (ou plus selon le Tableau 2) a subi un court-circuit ou est à circuit ouvert, le ou les niveaux défectueux doivent être rétablis et cet essai de type, répété. Le dysfonctionnement du niveau de valve et la dégradation d'un composant détectés lors de l'essai individuel de série après l'essai de type sont considérés comme des défauts indiqués dans la colonne la plus à droite du Tableau 2.

La distribution des niveaux court-circuités ou à circuit ouvert et d'autres défauts des niveaux d'IGBT à la fin de tous les essais de type doit être essentiellement aléatoire et ne doit pas révéler de défaut de conception.

Tableau 2 – Défauts des niveaux de valves admis au cours des essais de type

Nombre de niveaux de valve soumis à l'essai	Nombre de niveaux de valve pouvant subir un court-circuit ou être à circuit ouvert lors de l'un des essais de type	Nombre total de niveaux de valve pouvant subir un court-circuit ou être à circuit ouvert lors de tous les essais de type	Nombre supplémentaire de niveaux de valve, dans tous les essais de type, qui ont expérimenté un défaut mais n'ont pas subi de court-circuit ou n'ont pas été à circuit ouvert
Jusqu'à 33	1	1	1
34 à 67	1	2	2
68 à 100	1	3	3
> 100	2	4	4

5 Liste des essais

Pour la liste des essais, se reporter à la colonne centrale du Tableau 3.

Tableau 3 – Liste des essais de type

Essai	Article ou paragraphe	Objet d'essai
Essais de type de fonctionnement		
Essai d'endurance aux contraintes maximales en fonctionnement continu	6.4	Valve ou section de valve
Essai d'endurance en fonctionnement en surcharge temporaire maximale	6.5	Valve ou section de valve
Essai de tension de démarrage minimale	6.6	Valve ou section de valve
Essai de mise hors tension en cas de surintensité	10	Valve ou section de valve
Essai de courant de court-circuit (facultatif)	12	Valve ou section de valve
Essais de type diélectriques		
Essai de tension continue du support de valve	7.3.1	Support de valve
Essai de tension alternative du support de valve	7.3.2	Support de valve
Essai d'impulsion de foudre du support de valve	7.3.3	Support de valve
Essai de tension alternative de la MVU	8.4.1	MVU
Essai de tension continue de la MVU	8.4.2	MVU
Essai d'impulsion de foudre de la MVU	8.4.3	MVU
Essai de tension alternative de la valve	9.4.1.2	Valve ou section de valve
Essai de tension alternative/continue de la valve	9.4.1.3	
Essai d'impulsion de commutation de la valve	9.4.2	
Essai d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques		
Essai d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques	11	Valve ou section de valve
Essais de production		
Examen visuel	13.5.1	
Vérification de la connexion	13.5.2	
Vérification du circuit d'évaluation de la tension	13.5.3	
Vérification des circuits de commande, de protection et de surveillance	13.5.4	
Vérification de la tenue en tension	13.5.5	
Vérification de la mise sous/hors tension	13.5.6	
Essais de pression	13.5.7	

6 Essais de fonctionnement

6.1 Objectif des essais

Les principaux objectifs des essais de fonctionnement consistent:

- à vérifier la compatibilité de la paire diode-IGBT et des circuits électriques associés dans une valve en termes de courant, de tension et de contraintes de température à l'état conducteur, à l'état bloqué, à l'état débloqué, à la mise sous tension et à la mise hors tension dans les conditions les plus défavorables de contraintes répétées; et
- à démontrer que l'électronique de la valve et les circuits de puissance des valves 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. Pour les valves de convertisseur de type commutateur, l'objet d'essai spécifié en 6.2 convient aux sections de valve comportant au moins cinq niveaux de paires de valves 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. Pour les valves de convertisseur de type source de tension commandable, la section de valve doit être composée au moins de trois niveaux de valves connectés en série.

NOTE Pour les valves de convertisseur de type source de tension commandable, la tension de chaque sous-module est commandée de manière indépendante. Ainsi, au cours de l'exécution d'un essai, le nombre de niveaux d'essais peut être inférieur au nombre de niveaux d'essais pour une valve de convertisseur de type commutateur.

La valve ou les sections de valve soumises à l'essai doivent être assemblées avec tous les composants auxiliaires. Si nécessaire, un parafoudre de valve dimensionné proportionnellement doit être intégré, le cas échéant. Ce parafoudre doit être dimensionné au prorata du nombre de niveaux connectés en série soumis à l'essai, afin de garantir un niveau de protection correspondant au moins aux caractéristiques maximales du parafoudre utilisé.

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 en courant continu intégrée, la capacité en courant continu et ses connexions aux dispositifs à semiconducteur font partie intégrante de l'objet d'essai.

Cependant, pour les valves de convertisseur de type commutateur, lorsque le condensateur en courant continu n'est pas intégré à la valve, il doit être correctement représenté dans le circuit d'essai. En particulier, l'inductance de fuite de série des connexions entre le condensateur en courant continu et la valve ainsi que la capacité parasite autour de la section de valve doivent être correctement reproduites et dimensionnées en fonction de la taille de la section de valve soumise à l'essai. Les interconnexions de circuit d'essai doivent être représentatives du type utilisé dans le convertisseur, afin de ne pas introduire de niveaux d'amortissement irréalistes causés par les effets pelliculaires.

Afin de reproduire des effets thermiques corrects, il convient de réaliser l'essai de fonctionnement à la fréquence de service. Lorsque la fréquence de service est différente de la fréquence d'essai, les conditions d'essai doivent alors être ajustées afin de compenser approximativement la différence de pertes dépendant de la fréquence, le cas échéant pour démontrer que l'équipement est soumis à des contraintes appropriées.

6.4 Contraintes maximales à reproduire durant les essais de fonctionnement en continu

Il est nécessaire que l'essai reproduise les paramètres suivants en fonction des conditions les plus défavorables 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 de STATCOM:

- températures maximales en fonctionnement continu de la jonction des transistors bipolaires à grille isolée (IGBT);

- températures maximales en fonctionnement continu de la jonction des diodes de roue libre (DRL);
- températures maximales en fonctionnement continu du composant d'amortissement (snubber);
- lorsque des composants d'amortissement (snubbers) sont utilisés, tension et courant maximaux de mise sous tension et de mise hors tension en fonctionnement continu.

Pour les valves à diode:

- température maximale en fonctionnement continu de la jonction de la diode;
- lorsque des composants d'amortissement (snubbers) sont utilisés, températures maximales en fonctionnement continu du composant d'amortissement (snubber);
- tension et courant maximaux de mise hors tension de la diode en fonctionnement continu.

Il est nécessaire que tous ces paramètres soient reproduits lors de l'essai d'endurances aux contraintes maximales en fonctionnement continu. Ils peuvent être reproduits soit dans des essais individuels, soit dans un essai combiné.

La tension d'essai doit être établie sur la tension alternative maximale en fonctionnement continu, 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.

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

En principe, la tension d'essai U_{tpv1} correspondant à la tension alternative maximale en fonctionnement continu doit être déterminée comme suit:

$$U_{tpv1} = U_{max} \times k_n \times k_1$$

où

U_{max} est la tension alternative maximale en fonctionnement continu;

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

k_1 est un facteur de sécurité d'essai;

$k_1 = 1,05$.

NOTE La tension d'essai pour les valves MMC peut être définie par la tension de fonctionnement du condensateur du sous-module. Un facteur de sécurité d'essai de 1,05 est appliqué à la tension d'essai pour les valves MMC.

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

6.5 Essai d'endurance en fonctionnement en surcharge temporaire maximale

Si la valve est spécifiée pour le fonctionnement en surcharge temporaire, un essai d'endurance en fonctionnement temporaire maximal doit être réalisé.

Le courant d'essai doit être le courant de surcharge spécifié sans un facteur de sécurité d'essai.

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 d'endurance en fonctionnement en

surcharge 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 **comme facteur de sécurité d'essai**.

Après l'essai d'endurance en fonctionnement en surcharge temporaire, un essai d'endurance aux contraintes maximales en fonctionnement continu de 10 min doit être effectué **comme en 6.4**.

6.6 Essai de tension de démarrage minimale

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

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

$$U_{\min} = \frac{N_{\text{tut}}}{N_{\text{t}}} \times U_{\text{acmin}} \times k_2$$

où

U_{acmin} est la tension alternative minimale apparaissant entre les bornes d'une valve pouvant déclencher le fonctionnement de la valve à l'état débloqué;

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

N_{t} est le nombre total de niveaux de valve connectés en série dans une valve unique, redondance comprise;

k_2 est un facteur de sécurité d'essai;

$k_2 = 0,95$.

Pour l'essai de tension de démarrage minimale, seule la tension compte, et non le courant ou la durée de l'essai. L'essai doit montrer que l'électronique de la valve peut démarrer et fonctionner correctement.

7 Essais diélectriques sur le support de valve

7.1 Objectif des essais

Les principaux objectifs de ces essais sont les suivants.

- 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.
- 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.

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~~ des conditions d'utilisation les plus coûteuses, à l'exception du débit, qui peut être réduit.

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 contraintes les plus défavorables subies par les structures de support de valve.

7.3 Exigences relatives aux essais

7.3.1 Essai de tension continue du support de valve

L'essai est uniquement applicable aux conceptions dans lesquelles le support de valve est exposé à une tension continue lors de son utilisation.

Les deux principales bornes de la valve doivent être connectées entre elles, puis la tension continue doit être appliquée entre les deux bornes ainsi connectées et la terre.

En partant d'une tension n'étant pas supérieure 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 le plus rapidement possible, 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 de 3 h spécifié, le nombre de décharges partielles dépassant 300 pC doit être consigné comme indiqué dans l'Annexe B de l'IEC 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.

Dans toute la mesure du possible, la tension d'essai doit être augmentée à partir de 50 % jusqu'à la tension maximale en approximativement 10 s. Une durée plus longue peut être utilisée; toutefois, ceci peut soumettre l'objet d'essai à une contrainte excessive.

Si une tendance croissante est observée dans le taux ou l'amplitude de décharge partielle, la durée de l'essai peut être augmentée jusqu'à atteindre la décharge partielle d'équilibre.

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

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

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

essai pendant 1 min:

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

essai pendant 3 h:

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

où

U_{dmS1} est la valeur moyenne maximale de la tension pendant 1 s apparaissant aux bornes du support de valve, déterminée par l'étude de coordination de l'isolement;

U_{dmS2} est la valeur maximale de la composante continue de la tension de fonctionnement en régime établi apparaissant aux bornes du support de valve;

k_3 est un facteur de sécurité d'essai;

$k_3 = 1,1$;

k_t est le facteur de correction atmosphérique conformément à 4.2.

7.3.2 Essai de tension alternative du support de valve

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

En partant d'une tension n'étant pas supérieure à 50 % de la tension d'essai maximale, la tension doit être augmentée jusqu'à atteindre la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 1 min, rester constante pendant 1 min, être réduite jusqu'à atteindre la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 10 min, rester constante pendant 10 min et enfin être ramenée à zéro.

Avant la fin de l'essai de 10 min, le niveau de décharge partielle doit être surveillé et enregistré sur une période de 1 min. Si la valeur de décharge partielle est inférieure à 200 pC, le modèle peut être accepté sans condition. Si la valeur de décharge partielle est supérieure à 200 pC, les résultats d'essai doivent être évalués.

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

essai pendant 1 min:

$$U_{tas} = \frac{U_{mS1}}{\sqrt{2}} \times k_4 \times k_t$$

essai pendant 10 min:

$$U_{tas} = \frac{U_{mS2}}{\sqrt{2}} \times k_4$$

où

U_{mS1} est la valeur de crête de la tension maximale apparaissant au niveau du support de valve lors de son utilisation, et plus particulièrement dans des conditions de défaut affectant le système ou la valve. L'effet de limitation de la surtension du parafoudre de phase ou d'un autre dispositif de protection contre les surtensions, le cas échéant, doit être pris en considération pour calculer ladite surtension;

U_{mS2} est la valeur de crête maximale de la tension aux bornes du support de valve pour un fonctionnement continu en régime établi;

k_4 est un facteur de sécurité d'essai égal à 1,3 pour l'essai réalisé pendant 1 min et égal à 1,15 pour l'essai réalisé pendant 10 min;

k_t est le facteur de correction atmosphérique de la valeur conformément à 4.2 pour l'essai réalisé pendant 1 min.

7.3.3 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 l'IEC 60060-1 doit être utilisée.

~~La valeur de crête de la tension d'essai est la tension de tenue d'impulsion de foudre normalisée conforme à l'IEC 60071-1:2006, Tableau 2 ou 3.~~

La tension crête d'essai doit être choisie conformément à la coordination de l'isolement de la sous-station de la valve de STATCOM ou choisie à partir de la tension de tenue d'impulsion de foudre normalisée conformément à l'IEC 60071-1:2019, Tableau 2 ou Tableau 3. Lorsque cette dernière option est retenue, la tension entre phases la plus élevée du côté secondaire du transformateur (côté convertisseur), doit être utilisée comme la tension la plus élevée de l'équipement, au lieu de la tension la plus élevée de la valve de STATCOM, afin de choisir la valeur de crête d'impulsion de foudre correspondante.

8 Essais diélectriques sur une unité de valve multiple (MVU)

8.1 Généralités

L'Article 8 s'applique uniquement si au moins deux valves sont installées dans une structure de valve commune (unités de valves multiples). Dans le cas où chaque valve est montée individuellement dans une ou plusieurs structures de valve dédiées, l'Article 8 ne s'applique pas.

8.2 Objectif des essais

Les principaux objectifs de ces essais consistent:

- a) à vérifier la capacité de tenue en tension entre les valves uniques dans une structure de MVU; et
- b) à vérifier que les niveaux de décharge partielle se situent dans les limites spécifiées.

8.3 Objet d'essai

De nombreuses dispositions de valves et d'unités de valves multiples 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 puisse être démontré que certains composants peuvent être simulés ou omis sans rendre les résultats moins significatifs.~~ Le liquide de refroidissement doit se trouver dans un état représentatif des conditions d'utilisation les plus coûteuses, à l'exception du débit, qui peut être réduit.

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.

8.4 Exigences relatives aux essais

8.4.1 Essai de tension alternative de la MVU

Si une MVU subit des contraintes de tension alternative ou composite alternative/continue entre deux bornes dont la capacité de tenue n'a pas été démontrée de manière appropriée par d'autres essais, un essai de tension alternative devra être réalisé 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 n'étant pas supérieure 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 10 min, rester constante pendant 10 min et enfin être ramenée à zéro.

Avant la fin de l'essai de 10 min, le niveau de décharge partielle doit être surveillé et enregistré sur une période de 1 min. Si la valeur de décharge partielle est inférieure à 200 pC, le modèle peut être accepté sans condition. Si la valeur de décharge partielle est supérieure à 200 pC, les résultats d'essai doivent être évalués.

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

essai pendant 1 min:

$$U_{\text{tam}} = \frac{U_{\text{mmp}}}{\sqrt{2}} \times k_5 \times k_t$$

essai pendant 10 min:

$$U_{\text{tam}} = \frac{U_{\text{mms}}}{\sqrt{2}} \times k_5$$

où

U_{mmp} est la valeur de crête de la tension maximale, en tenant compte du parafoudre, le cas échéant, et de l'effet de protection entre les valves adjacentes au défaut affectant le système;

U_{mms} est la valeur de crête de la tension maximale entre les valves adjacentes de la MVU pour un fonctionnement en régime établi;

k_5 est un facteur de sécurité d'essai égal à 1,3 pour l'essai réalisé pendant 1 min et égal à 1,15 pour l'essai réalisé pendant 10 min;

k_t est le facteur de correction atmosphérique de la valeur conformément à 4.2 pour l'essai réalisé pendant 1 min.

8.4.2 Essai de tension continue de la MVU

En règle générale, la tension continue de la MVU n'est pas nécessaire. Pour les conceptions de valves dans lesquelles la MVU peut avoir une tension continue, l'essai doit être réalisé conformément à l'IEC 62501.

8.4.3 Essai d'impulsion de foudre de la MVU

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 l'IEC 60060-1 doit être utilisée.

~~La valeur de crête de la tension d'essai est la tension de tenue d'impulsion de foudre normalisée conforme à l'IEC 60071-1:2006, Tableau 2 ou 3.~~

La tension crête d'essai doit être choisie conformément à la coordination de l'isolement de la sous-station de la valve de STATCOM ou choisie à partir de la tension de tenue d'impulsion de foudre normalisée conformément à l'IEC 60071-1:2019, Tableau 2 ou Tableau 3. Lorsque cette dernière option est retenue, la tension entre phases la plus élevée du côté secondaire

du transformateur (côté convertisseur), doit être utilisée comme la tension la plus élevée de l'équipement, au lieu de la tension la plus élevée de la valve de STATCOM, afin de choisir la valeur de crête d'impulsion de foudre correspondante.

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 (surtension continue, alternative et d'impulsion de commutation). Les essais doivent démontrer les éléments suivants:

- a) la valve résiste aux surtensions spécifiées;
- b) les décharges partielles se situent dans les limites spécifiées des conditions d'essai spécifiées;
- c) le cas échéant, les circuits internes d'évaluation de la tension ont une puissance nominale suffisante; ~~et.~~

~~d) les circuits électroniques de la valve se comportent comme prévu.~~

~~Il convient d'indiquer que~~ Les essais décrits dans l'Article 9 sont établis sur des formes d'onde normalisées et des procédures d'essai normalisées développées pour l'essai des systèmes et des composantes alternatives à haute tension. Cette approche présente de nombreux avantages pour les industries, car elle permet d'appliquer la plus grande partie de la technologie existante en matière d'essais à haute tension à la qualification des valves. En revanche, il doit être admis que l'application d'un STATCOM particulier 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 ses composants auxiliaires, à l'exception de son parafoudre, lorsqu'elle en est équipée.

Si une section de valve est utilisée comme objet d'essai, ~~il convient que~~ le nombre minimal de niveaux de valve ~~soit~~ doit être représentatif d'une valve complète en termes de contraintes diélectriques.

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 Méthodes d'essai

9.3.1 Généralités

La réalisation d'un essai diélectrique de la valve entraîne des difficultés pratiques considérables avec les valves de type source de tension commandable en raison du courant élevé appelé par la capacité intégrée. Par conséquent, les méthodes d'essai diélectrique de la valve suivantes sont acceptables.

9.3.2 Méthode 1

La substitution provisoire d'un condensateur d'essai par un autre condensateur d'essai de capacité réduite mais de la même taille est admissible. Ce condensateur d'essai doit pouvoir générer une tension d'essai à travers l'objet d'essai tout au long de l'essai.

En outre, l'électronique de grille ou d'autres circuits auxiliaires peuvent devoir être désactivés lors de cet essai, ou des moyens indépendants peuvent devoir être prévus pour leur alimentation, afin de prévenir toute interférence avec le mesurage de la décharge partielle, provenant par exemple des circuits d'alimentation de l'unité de grille. Dans ce cas, la fonction de régulation de la tension active, si elle est assurée par l'électronique de grille à chaque niveau d'IGBT, peut être représentée par d'autres moyens, notamment par des résistances shunt à résistance élevée pour les niveaux d'IGBT d'essai.

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

9.3.3 Méthode 2

L'essai diélectrique de la valve s'effectue en deux étapes.

La première étape est axée sur le niveau du composant et la seconde étape concerne la valve ou section de valve. Lors de la première étape, les niveaux de module sont soumis à l'essai séparément. Lors de la seconde étape, l'essai est réalisé en faisant subir un court-circuit aux niveaux du sous-module, en supprimant les interconnexions entre les sous-modules adjacents et en commandant la répartition de la tension de la valve ou de la section de valve à l'aide d'un circuit d'évaluation externe (p. ex.: chaîne de résistances, chaîne de condensateurs ou chaîne combinée de résistances et de condensateurs). Les essais d'isolation et de décharge partielle avec une tension alternative, une tension continue et/ou une tension alternative/continue combinée doivent être réalisés au niveau du sous-composant (par exemple sans activation de l'électronique de puissance du module et sans condensateur) ou au niveau du sous-module complet. L'objectif est de soumettre à essai à la fois la capacité de tenue à l'isolement pour chaque sous-composant et la protection contre les décharges partielles pour chaque point sensible à l'intérieur du niveau de valve.

NOTE L'application de la correction atmosphérique aux tensions d'essai spécifiques peut être ajoutée à cette seconde étape.

9.4 Exigences relatives aux essais

9.4.1 Essai de tension alternative ou composite alternative/continue de la valve

9.4.1.1 Généralités

Cet essai est constitué d'un essai de courte durée suivi d'un essai de longue durée. L'essai de courte durée reproduit la tension alternative ou la tension composite alternative/continue provoquée par certains défauts au niveau du convertisseur ou du système.

NOTE Un essai composite alternatif/continu s'applique à une valve reliée entre une borne en courant continu et une phase en courant alternatif semblable à un convertisseur CCHT (courant continu haute tension).

Cet essai comprend un essai de tension de courte durée de 10 s et un essai de longue durée de 30 min.

Cet essai peut être réalisé à l'aide d'un seul essai combiné ou bien d'un essai de courte durée et d'un essai de longue durée séparés.

En partant d'une tension n'étant pas supérieure à 50 % de la tension d'essai maximale, la tension doit être accélérée jusqu'à atteindre le plus rapidement possible la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 10 s, être réduite jusqu'à atteindre la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 30 min en cas d'essai combiné ou être ramenée à zéro en cas d'essai séparé, rester constante pendant 30 min et enfin être ramenée à zéro.

Lorsqu'un essai séparé est réalisé, l'essai de courte durée doit précéder l'essai de longue durée. Pour un essai de longue durée, en partant d'une tension n'étant pas supérieure à 50 % de la tension d'essai à maintenir pendant 30 min, la tension doit être accélérée jusqu'à atteindre la tension d'essai à maintenir pendant 30 min, rester constante pendant 30 min et enfin être ramenée à zéro.

Pour un mesurage de la décharge partielle, 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.

Dans toute la mesure du possible, la tension d'essai doit être augmentée depuis 50 % jusqu'au niveau de tension maximale en approximativement 10 s. Une durée plus longue peut être utilisée; toutefois, ceci soumet l'objet d'essai à une contrainte excessive.

Si une tendance croissante est observée dans le taux ou l'amplitude de décharge partielle, la durée de l'essai peut être augmentée jusqu'à atteindre la décharge partielle d'équilibre.

9.4.1.2 Essai de tension alternative de la valve

Cet essai est uniquement applicable aux valves qui sont ~~directement~~ reliées à deux phases en courant alternatif ou reliées entre une phase en courant alternatif et un neutre.

La valeur efficace de la tension d'essai alternative de la valve U_{tv} doit être déterminée conformément aux éléments suivants:

essai pendant 10 s:

$$U_{tv} = \frac{U_{tac1}}{\sqrt{2}} \times k_o \times k_6$$

essai pendant 30 min:

$$U_{tv} = \frac{U_{tac2}}{\sqrt{2}} \times k_o \times k_6$$

U_{tac1} est la valeur de crête de la tension maximale aux bornes de la valve au cours de l'exploitation, y compris le fonctionnement de la valve à l'état débloqué et à l'état bloqué dans des conditions de surtension temporaire du système. L'effet de limitation de la fonction de régulation de la tension de la valve et du parafoudre de valve, le cas échéant, doit être pris en considération pour calculer la surtension en condition d'utilisation;

U_{tac2} est la valeur maximale de la tension de fonctionnement de crête en régime établi apparaissant aux bornes de la valve, y compris le dépassement de commutation;

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

k_6 est un facteur de sécurité d'essai égal à 1,10.

9.4.1.3 Essai de tension alternative/continue de la valve

Cet essai s'applique à une valve reliée entre une borne en courant continu et une phase en courant alternatif.

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

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

Une autre possibilité peut consister à utiliser une source de tension continue distincte à la place du condensateur.

La ~~valeur efficace de la tension d'essai alternative/continue~~ tension d'essai de la valve U_{tv} doit être déterminée conformément aux éléments suivants:

essai pendant 10 s:

$$U_{tv} = (k_{c1} \times U_{tac1} \times \sin(2\pi ft) + U_{tdc1}) \times k_o \times k_7$$

essai pendant 30 min:

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

$$U_{tac2} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\max\text{-cont}} \times \sin(2\pi ft)}{\sqrt{3}} \times k_{c2} \times k_o \times k_7$$

$$U_{tdc2} = U_{d\max} \times k_o \times k_7$$

$$U_{tv} = \left(\frac{k_{c2} \times \sqrt{2} U_{\max\text{-cont}} \times \sin(2\pi ft)}{\sqrt{3}} + U_{d\max} \right) \times k_o \times k_7$$

où

U_{tac1} est la valeur de crête de la tension maximale aux bornes de la valve au cours de l'exploitation, y compris le fonctionnement de la valve à l'état débloqué et à l'état bloqué dans des conditions de surtension temporaire du système. L'effet de limitation de la fonction de régulation de la tension de la valve et du parafoudre de valve, le cas échéant, doit être pris en considération pour calculer la surtension en condition d'utilisation;

U_{tdc1} est la composante continue maximale de la surtension transitoire aux bornes de la valve. L'effet de limitation du parafoudre de valve ou du parafoudre de pôle peut être pris en considération pour calculer la surtension en condition d'utilisation;

$U_{\text{max-cont}}$	est la tension maximale entre phases en régime établi sur le système à courant alternatif ou le côté valve du transformateur, si un transformateur de convertisseur est utilisé entre le système à courant alternatif et les convertisseurs;
U_{dmax}	est la valeur maximale de la composante continue de la tension de fonctionnement en régime établi du côté courant continu;
k_{c1}	est le facteur de dépassement du palier de tension lié à un palier de tension de sortie du convertisseur, dans les conditions conformes à celles appliquées pour définir U_{tac1} . Pour un convertisseur de type MMC ou CTL, le facteur de dépassement du palier de tension est lié au facteur de dépassement d'une cellule ou d'un sous-module;
k_{c2}	est le facteur de dépassement du palier de tension lié à un palier de tension de sortie du convertisseur, dans les conditions conformes à celles appliquées pour définir U_{tac2} ;
k_0	est un facteur d'échelle d'essai conformément à 4.3.2;
k_7	est un facteur de sécurité d'essai égal à 1,10;
f	est la fréquence d'essai, en Hz (50 Hz ou 60 Hz, selon les installations d'essai).
t	est la variable temps, en s.

L'utilisation d'un condensateur au lieu d'une source en courant continu dans le circuit d'essai doit être convenue par le fabricant puisque la tension d'essai est plus élevée que la valeur réelle.

9.4.2 Essai d'impulsion de commutation de la valve

~~Il convient de tenir compte de ce qui suit~~ Les éléments suivants doivent être pris en compte pendant l'essai d'impulsion de commutation de la valve:

- L'influence de la bobine d'inductance de phase et du condensateur de stockage d'énergie de la valve sur les impulsions.
- L'essai d'impulsion est réalisé en appliquant une seule polarité à la valve de conception en demi-pont. Il s'agit de la polarité de tension de tenue de la valve. Pour une valve de conception en pont complet, l'essai doit être réalisé à la fois avec la polarité positive et la polarité négative.
- Si les niveaux de tenue d'impulsion de la valve sont inférieurs ou égaux au niveau d'essai de tension alternative ou composite alternative/continue de la valve, il est pris pour hypothèse que cet essai de tension peut couvrir les essais d'impulsion. Par conséquent, les essais d'impulsion peuvent être omis.

Une forme d'onde de tension d'impulsion de commutation normalisée conforme à l'IEC 60060-1 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 parafoudre:

$$U_{\text{tsv}} = SIPL_v \times k_0 \times k_8$$

où

$SIPL_v$ est le niveau de protection d'impulsion de commutation du parafoudre de valve;

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

k_8 est un facteur de sécurité d'essai égal à 1,10.

– Valve sans protection par parafoudre:

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

$$U_{tsv} = U_{cms} \times k_o \times k_g$$

où

U_{cms} est la tension prévue d'impulsion de commutation aux 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_g est un facteur de sécurité d'essai égal à 1,15.

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

NOTE Comme pour l'essai de tension alternative ou l'essai de tension composite alternative/continue, la réalisation de l'essai d'impulsion de commutation de la valve entraîne des difficultés pratiques considérables avec les valves de type source de tension commandable en raison de leur grande capacité intégrée. L'installation d'essai rencontre des difficultés lors de la génération de la tension d'impulsion de commutation. Par conséquent, les méthodes d'essai décrites en 9.3 sont également applicables ici.

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 de STATCOM, 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 défauts de type court-circuit ou de ratés d'allumage.

L'essai doit simuler la combinaison la plus défavorable 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. Selon la stratégie de commande et de protection, deux essais ou plus peuvent être exigés afin de reproduire toutes les contraintes appropriées.

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

10.2 Objet d'essai

L'objet d'essai est décrit en 6.2. En cas de valves de type VSC à source de tension commandable, cet essai peut également être réalisé au niveau de la valve. ~~Cependant~~ Néanmoins, certains circuits de protection ou de surveillance doivent être représentés s'ils 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 établi la plus élevée pour les IGBT concernés (voir 6.4) et à susciter ensuite une surintensité. Le système de commande et de protection détecte alors la surintensité et la supprime par le biais du blocage de protection de la valve, c'est-à-dire en mettant les IGBT hors tension à un courant inférieur à la limite de mise hors tension sécurisée maximale.

La tension continue au cours de l'essai, U_{tpv2} , doit être déterminée comme suit:

$$U_{tpv2} = U_{dtemp} \times k_n \times k_{10}$$

où

U_{dtemp} est la surtension temporaire continue maximale;

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

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

$k_{10} = 1,05$.

La tension d'essai pour les valves MMC doit être définie par la tension de fonctionnement du condensateur du sous-module; elle doit comporter un facteur de sécurité d'essai de 1,05.

~~Il convient que~~ La forme d'onde de courant d'essai, dans l'intervalle de temps compris entre la détection de la surintensité et l'instant de la mise hors tension des IGBT, ~~soit~~ doit être représentative des conditions d'utilisation, notamment en termes de vitesse de montée du courant di/dt .

11 Essais d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques

11.1 Objectif des essais

Le principal objectif consiste à démontrer l'insensibilité de la valve au brouillage électromagnétique (perturbations électromagnétiques) découlant des transitoires de tension et de courant générés à l'intérieur de la valve et qui lui sont imposés depuis l'extérieur. Les éléments sensibles de la valve correspondent généralement aux circuits électroniques utilisés pour la commande, la protection et la surveillance des niveaux de valve.

Généralement, l'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques peut être vérifiée en surveillant la valve au cours d'autres essais de type. Parmi ces essais, l'essai d'endurance aux contraintes maximales en fonctionnement continu de la valve, l'essai d'endurance en fonctionnement en surcharge temporaire maximal de la valve (voir 6.4 et 6.5), l'essai d'impulsion de la valve (voir 9.4.2) et l'essai de mise hors tension de l'IGBT en cas de surintensité (voir Article 10) sont les plus importants.

Les essais doivent démontrer les éléments suivants:

- a) qu'il ne se produit pas de déclassement ou de commutation parasite de l'IGBT;
- b) que les circuits de protection électroniques installés dans la valve fonctionnent comme prévu; et
- c) qu'une indication erronée de défauts de niveaux de valve ou des signaux erronés ne sont pas envoyés aux systèmes de commande et de protection du convertisseur par l'électronique de commande de la valve, en raison de la réception de données erronées des circuits de surveillance de la valve.

NOTE Pour le présent document, les essais visant à démontrer l'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques s'appliquent uniquement à la valve de VSC et à la partie du système de transmission de signal qui connecte la valve à la terre. La démonstration de l'insensibilité aux perturbations électromagnétiques de l'équipement situé au potentiel de terre et la caractérisation de la valve comme source de perturbations électromagnétiques pour d'autres éléments de l'équipement n'entrent pas dans le domaine d'application du présent document.

11.2 Objet d'essai

En général, l'objet d'essai est la valve ou les sections de valve utilisées pour les autres essais.

Lorsque l'insensibilité aux perturbations électromagnétiques provoquées par le couplage entre des valves adjacentes dans une MVU doit être démontrée, deux approches sont

admissibles (voir 11.3). Dans ce cas, l'objet d'essai est une valve ou une section de valve séparée selon l'approche adoptée.

11.3 Exigences relatives aux essais

11.3.1 Généralités

Lors de la démonstration de l'insensibilité aux perturbations électromagnétiques provoquées par le couplage entre des valves adjacentes d'une MVU, les exigences relatives aux essais dépendent de l'approche adoptée parmi les deux approches recommandées.

La disposition géométrique spécifique à utiliser et l'amplitude de la tension directe pour l'objet soumis à l'essai de perturbations électromagnétiques doivent faire l'objet d'un accord en fonction de la conception de la MVU.

11.3.2 Première approche

La première approche consiste à simuler directement la source des perturbations électromagnétiques en tant qu'élément d'un montage d'essai. Ce type de montage d'essai exige plusieurs valves ou sections de valve afin de vérifier leur interaction. La disposition géométrique de la source des perturbations électromagnétiques par rapport à la valve soumise à l'essai doit être aussi proche que possible de la disposition d'utilisation (ou plus défavorable, du point de vue des perturbations électromagnétiques). L'électronique de l'objet soumis à l'essai de perturbations électromagnétiques doit être alimentée. Les parties de l'électronique de commande de la valve nécessaires au bon échange d'informations avec l'objet soumis à l'essai de perturbations électromagnétiques doivent être incluses.

11.3.3 Deuxième approche

La deuxième approche consiste à déterminer l'intensité des champs électromagnétiques dans les conditions les plus défavorables de fonctionnement, soit à partir de considérations théoriques, soit au moyen de mesurages. Dans un deuxième temps, ces champs sont simulés par un circuit d'essai qui génère un rayonnement électromagnétique correct (ou plus défavorable) aux fréquences respectives. Une section de valve est ensuite exposée aux champs générés par la source d'essai.

Un prérequis essentiel de la deuxième approche est la détermination de la puissance et de la direction du champ dynamique aux emplacements clés de la valve. Cette détermination peut généralement être obtenue au moyen de mesurages effectués par une bobine d'exploration au cours d'essais d'allumage sur une valve unique. Elle peut également être obtenue à l'aide de programmes de modélisation de champ en trois dimensions. Ensuite, une section de valve doit être soumise à l'essai à l'aide d'une bobine de champ séparée pouvant produire une intensité, un contenu de fréquence et une direction de champ au moins aussi importants que les valeurs prévues.

Les conditions suivantes relatives à la section de valve soumise à l'essai doivent être respectées:

- la section de valve doit présenter une tension de fonctionnement (dimensionnée proportionnellement) entre ses bornes et être polarisée en sens direct au moment de l'excitation de la bobine de champ;
- l'électronique de la section de valve soumise à l'essai doit être alimentée;
- les parties de l'électronique de commande de la valve nécessaires au bon échange d'informations avec la section de valve doivent être incluses.

11.3.4 Critères d'acceptation

Les critères d'acceptation pour la première approche et la deuxième approche doivent être définis conformément à 11.1.

12 Essai de courant de court-circuit ~~(facultatif)~~

12.1 Objectif des essais

Cet essai est destiné aux valves non équipées de la fonction de commutation du courant de défaut. Il est uniquement applicable aux valves disposant d'une liaison commune à courant continu.

Le principal objectif consiste à vérifier l'adéquation des dispositifs, notamment des diodes, des composants supplémentaires éventuels utilisés pour protéger les diodes (tels que les thyristors de dérivation) et des circuits électriques associés, par rapport aux contraintes de courant dans des conditions de court-circuit spécifiées, par exemple un défaut produisant un court-circuit au niveau de la borne du condensateur de stockage d'énergie en courant continu, jusqu'à la coupure du courant de défaut par le circuit de commande et de protection. ~~Il convient de concevoir~~ Les valves de STATCOM ~~doivent être conçues~~ afin qu'elles résistent à la surintensité de court-circuit pendant le nombre de cycles nécessaires pour ouvrir le disjoncteur à courant alternatif principal, sans aucun dysfonctionnement ou aucun endommagement de l'équipement, compte tenu également du fait qu'une tension de rétablissement potentielle peut apparaître. ~~Il convient normalement de réaliser l'essai avec l'électronique de la valve initialement sous tension, à moins que le courant de court-circuit puisse se produire dans les conditions où la valve est mise hors tension (par exemple, en raison du courant d'appel existant lors de la fermeture du disjoncteur du convertisseur au démarrage).~~ L'électronique de valve doit normalement être mise sous tension pour la partie de l'événement de défaut pour laquelle toutes les actions sont gérées par l'électronique: par exemple lors du blocage des IGBT ou de l'activation des dispositifs de protection tels que les thyristors de dérivation. Pour les autres parties de l'événement de défaut, il n'est pas nécessaire de mettre sous tension l'électronique de valve.

12.2 Objet d'essai

Décrit en 6.2.

NOTE Cet essai fait l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur et peut être réalisé sur le niveau du composant plutôt que sur la valve ou la section de valve.

12.3 Exigences relatives aux essais

L'essai consiste à faire atteindre à l'objet d'essai l'équilibre thermique dans les conditions produisant la température de jonction en régime établi la plus élevée pour le composant à semiconducteur concerné (voir 6.4) et à susciter ensuite un courant de défaut. Afin de définir l'élévation de la température de jonction maximale des IGBT et des diodes, toutes les conditions de surcharge possibles (en termes d'amplitude et de durée) doivent être prises en considération.

~~Il convient que~~ L'amplitude, la durée et le nombre de cycles du courant de défaut ~~représentent~~ doivent représenter les valeurs maximales attendues pour un fonctionnement réel. Aucun facteur de sécurité d'essai ne s'applique au courant.

Lorsque l'objet d'essai connaît une tension de rétablissement entre les cycles de courant de défaut, cette tension de rétablissement, y compris le dépassement de commutation le cas échéant, doit également être reproduite lors de l'essai. Un facteur de sécurité d'essai de 1,05 s'applique à la tension de rétablissement.

13 Essais de production

13.1 Généralités

L'Article 13 traite des essais effectués sur des assemblages de composants faisant partie des valves, des sections de valve, ou des circuits auxiliaires destinés à leur protection, leur

commande et leur surveillance. Il ne couvre pas les essais effectués sur des composants individuels, utilisés à l'intérieur de la valve, du support de valve ou de la structure de valve.

13.2 Objectif des essais

L'objectif des essais de production consiste à vérifier l'adéquation de la fabrication en démontrant que:

- tous les composants et sous-ensembles utilisés dans la valve ont été correctement installés conformément à la conception;
- l'équipement de la valve fonctionne comme prévu et les paramètres préétablis sont compris dans les limites d'acceptation prescrites;
- les sections de valve et les niveaux de valve (selon les cas) présentent une capacité de tenue en tension appropriée; et
- la cohérence et l'uniformité en production sont atteintes.

13.3 Objet d'essai

Toutes les sections de valve ou les parties fabriquées pour le projet doivent être soumises aux essais de production de série. Les essais peuvent être réalisés sur les sections de valve ou les niveaux individuels, selon la conception et les installations d'essai disponibles.

13.4 Exigences relatives aux essais

L'uniformité des essais de production spécifiés par différents fournisseurs n'est pas nécessaire. Les essais de production doivent prendre en compte les caractéristiques de conception spécifiques à la valve et à ses composants, la portée de l'essai des composants effectué préalablement à l'essai de l'assemblage, et les procédures et techniques de fabrication particulières mises en œuvre. Dans l'Article 13, seuls les objectifs de l'essai de production sont indiqués.

Dans tous les cas, le fournisseur doit soumettre, pour approbation par le client, une description détaillée des procédures d'essai proposées pour satisfaire aux objectifs d'essai de production.

Les exigences minimales des essais de production de série sont indiquées en 13.5. L'ordre dans lequel les essais sont répertoriés ne reflète ni un classement par ordre d'importance, ni l'ordre dans lequel ~~il convient de les réaliser~~ ils doivent être réalisés.

Dans certains cas, il peut s'avérer nécessaire d'effectuer des essais d'échantillon de production sur les assemblages complets en plus des essais de série, comme lorsque des modifications sont introduites au cours de la production. La nature et l'étendue de ces essais supplémentaires doivent être convenues au cas par cas.

13.5 Objectifs des essais de production

13.5.1 Examen visuel

Vérifier que tous les matériaux et composants sont correctement installés et qu'aucun d'entre eux n'est endommagé, conformément à la dernière révision approuvée de la documentation de production.

13.5.2 Vérification de la connexion

Vérifier que les principales connexions conduisant du courant ont été réalisées correctement.

13.5.3 Vérification du circuit d'évaluation de la tension

Vérifier les paramètres du circuit d'évaluation et garantir ainsi que la division de la tension entre les niveaux connectés en série sera adaptée pour les tensions appliquées à partir de courant en courant continu aux formes d'onde d'impulsion, le cas échéant.

13.5.4 Vérification des circuits de commande, de protection et de surveillance

Vérifier le fonctionnement de chaque circuit de commande, de protection ou de surveillance faisant partie intégrante de la valve, comme les circuits de commande de grille IGBT et tous les circuits locaux de protection ou de surveillance.

Si des essais de type et des essais concernant l'efficacité de la protection par fusible sont considérés comme nécessaires, ils doivent être spécifiés séparément avec les conditions d'essais.

13.5.5 Vérification de la tenue en tension

Vérifier que les composants de la valve peuvent résister à la tension correspondant à la valeur maximale spécifiée pour la valve. Les vérifications doivent inclure une tension d'essai alternative ou continue ou composite alternative/continue. L'Annexe B comprend des informations sur la tolérance aux pannes des composants de valves.

13.5.6 Vérification de la mise sous/hors tension

Vérifier que les IGBT dans chaque niveau de valve se mettent correctement sous et hors tension, en réponse aux commandes de commutation.

13.5.7 Essais de pression

Vérifier qu'il n'y a pas de fuite du liquide de refroidissement.

14 Présentation des résultats d'essais de type

Le rapport d'essai doit comprendre les informations suivantes:

- le nom et l'adresse du laboratoire et le lieu de réalisation des essais;
- l'identification sans ambiguïté de l'objet d'essai, comprenant son type et ses caractéristiques, son numéro de série et tout autre renseignement utile à son identification;
- nom et prénom du technicien d'essai, contre-signature et date de réalisation de l'essai;
- la description des circuits d'essai et des procédures d'essai utilisées pour la réalisation des essais;
- la référence aux documents normatifs et la description claire des points de divergence, s'il y en a, avec les procédures indiquées dans les documents normatifs;
- la description de l'équipement de mesurage et l'indication de l'incertitude de mesure;
- les résultats d'essais sous forme de tableaux, de graphiques, d'oscillogrammes et de photographies, selon les cas;
- la description du dysfonctionnement de l'équipement ou du composant.

Annexe A (informative)

Présentation des valves de STATCOM

A.1 Généralités

Le développement rapide des commutateurs à semiconducteur modernes a permis le développement de la technologie de l'électronique de puissance de manière générale. Outre les diodes et les thyristors, d'autres composants à semiconducteur blocables tels que les transistors à effet de champ (MOSFET), les thyristors commandables à l'extinction (GTO), les thyristors commutés à grille (GCT), les thyristors commutés à grille intégrée (IGCT) et les transistors bipolaires à grille isolée (IGBT) sont à présent utilisés dans de nombreux types de convertisseurs de puissance (continu/continu, continu/alternatif, alternatif/continu et alternatif/alternatif).

Faisant suite à cette évolution dans le domaine de l'électronique de puissance, ces convertisseurs sont utilisés dans un nombre croissant d'applications diverses, telles que les alimentations à découpage, les entraînements à vitesse variable de moteur et les systèmes CCHT (courant continu haute tension). L'une des applications est le conditionnement de puissance, où les compensateurs synchrones statiques (STATCOM) constituent l'un des dispositifs les plus modernes.

Le circuit principal d'un STATCOM est essentiellement composé d'un convertisseur à deux niveaux, à trois niveaux ou multiniveaux. Avec les convertisseurs à deux niveaux et à trois niveaux, le STATCOM inclut un convertisseur en pont assurant un flux de puissance bidirectionnel ainsi qu'un condensateur connecté du côté courant continu assumant le rôle de composant de stockage d'énergie. Avec les convertisseurs multiniveaux, le STATCOM est généralement composé de plusieurs petits convertisseurs en pont, chacun d'entre eux disposant de son propre système de stockage d'énergie en courant continu connecté en série entre des phases en courant alternatif ou entre une phase en courant alternatif et un neutre.

L'Annexe A présente les principes d'exploitation de base d'un STATCOM. Cependant, il est important de préciser qu'un traitement approfondi de tous les détails envisageables, par exemple de l'ensemble des variations dans les topologies de valves de STATCOM, ne relève pas du domaine d'application du présent document. L'objectif de l'Annexe A est seulement de présenter brièvement les caractéristiques de base du STATCOM et de ses convertisseurs intégrés.

A.2 Applications et limites d'exploitation d'un STATCOM

La compensation de puissance d'un STATCOM est dans l'ensemble générée par une gamme de quelques MVA à des centaines de MVA, et le principe de commande du STATCOM est choisi selon l'utilisation à laquelle il est destiné. D'une part, un STATCOM est destiné à une application au réseau public dans le but de gérer la tension du réseau d'alimentation. Ce STATCOM est alors habituellement utilisé pour le réglage de la tension, la correction du facteur de puissance ou la compensation de puissance réactive. D'autre part, un STATCOM peut être destiné à une application industrielle dont l'objectif est de protéger le réseau d'alimentation contre les perturbations générées par une charge importante. Dans ce cas, les commandes types ont pour objectif d'assurer l'équilibre des phases asymétriques, la commande d'oscillation ou le filtrage des harmoniques.

Le principe d'exploitation de base d'un STATCOM est par essence différent de celui d'un compensateur statique de puissance réactive (SVC²), lequel est également utilisé pour la

² SVC = static var compensator.

compensation de puissance réactive. Un STATCOM utilise fondamentalement des commutateurs à semiconducteur blocables, ce qui accélère sans conteste sa vitesse de réponse. De plus, dans la mesure où un convertisseur STATCOM intègre toujours un système de stockage en courant continu, ses caractéristiques de compensation ne dépendent pas majoritairement des caractéristiques du réseau d'alimentation, contrairement à un SVC.

La Figure A.1 présente les principales caractéristiques de la courbe $U-I$ d'un STATCOM. Il est à noter qu'un STATCOM peut générer un courant de compensation intégral avec une très faible tension de réseau d'alimentation. En théorie, la tension du réseau peut même s'approcher de zéro. Dans ce cas, un STATCOM nécessiterait toutefois une source de puissance externe du côté du courant continu afin de compenser ses pertes et de maintenir le niveau exigé de tension du côté du courant continu.

En l'absence de cette source de puissance externe, le STATCOM doit également extraire sa puissance active du réseau d'alimentation afin de maintenir le niveau exigé de tension du côté du courant continu. Cette extraction devant s'effectuer sans dépasser les caractéristiques assignées du courant du convertisseur STATCOM, la tension minimale du réseau nécessaire à son exploitation est généralement comprise entre 0,2 p.u. et 0,4 p.u. Lorsque la tension est supérieure à ces valeurs, le STATCOM peut générer un courant de sortie intégral sans tenir compte du niveau de tension du réseau. Par conséquent, la puissance réactive maximale générée ou extraite par le STATCOM dépend uniquement de manière linéaire du niveau de tension du réseau. Au contraire, pour un SVC, cette puissance dépend de la puissance secondaire de la tension du réseau.

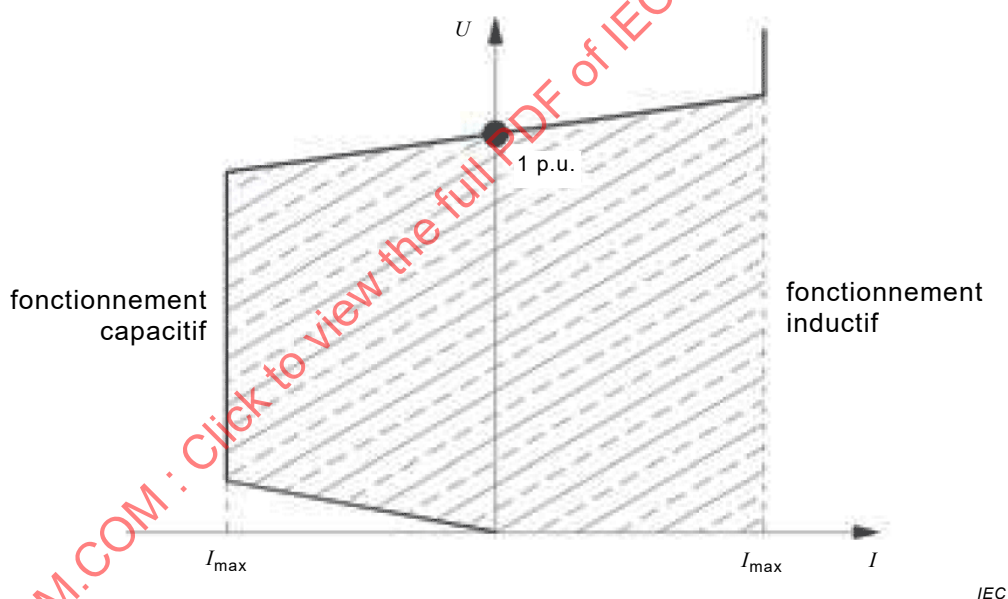


Figure A.1 – Caractéristiques de la courbe $U-I$ d'un STATCOM

A.3 Présentation des types de valves de STATCOM

Plusieurs types de convertisseurs triphasés, à deux niveaux, à trois niveaux ou multiniveaux peuvent être utilisés pour construire un STATCOM. Tous ces convertisseurs sont décrits avec grande précision dans les ouvrages de référence, et vont bien au-delà du domaine d'application du présent document. Néanmoins, le bloc fonctionnel de base d'un STATCOM/d'une valve de STATCOM peut être identifié dans toutes ces topologies. Toutes les valves de STATCOM appartiennent à l'une des deux catégories suivantes:

- valves de STATCOM de type commutateur: ces valves fonctionnent uniquement à la manière d'un commutateur commandable, présentant uniquement deux états permanents,

à savoir ON (mise sous tension) et OFF (mise hors tension). Dans les convertisseurs présentant cette topologie, les condensateurs en courant continu sont entièrement séparés des valves et peuvent être soumis à l'essai individuellement;

- valves de STATCOM de type source de tension commandable: dans les valves de ce type, les condensateurs en courant continu font partie intégrante de la valve et ne peuvent pas en être séparés en vue des essais.

A.4 Valves de STATCOM de type commutateur

A.4.1 Généralités

Les valves de STATCOM de ce type sont assez ressemblantes en apparence aux valves à thyristor classiques, en cela qu'elles sont constituées de dispositifs IGBT connectés en série et commutés simultanément. Comme pour les valves à thyristor classiques, la commutation simultanée des IGBT connectés en série est cruciale. Les valves de ce type sont normalement utilisées avec des convertisseurs présentant un nombre relativement faible de niveaux de sortie.

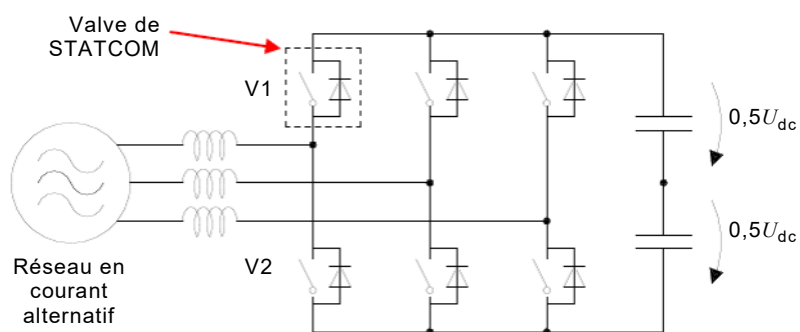
Pour compenser leur faible nombre de niveaux de sortie, ces convertisseurs ont généralement recours au schéma de commutation de la modulation de largeur d'impulsion (MLI) pour atteindre une approximation correcte de la tension de sortie sinusoïdale.

Certaines des topologies de convertisseur les plus courantes pouvant être utilisées avec ce type de valve de STATCOM sont décrites de A.4.2 à A.4.4.

A.4.2 Convertisseur à deux niveaux

Dans le plus simple des cas, le STATCOM a recours à un convertisseur à deux niveaux. Un convertisseur à deux niveaux est donné à la Figure A.2. Chacune de ses unités de phase est seulement composée de deux valves de STATCOM connectées en série et partageant une borne en courant alternatif.

Ces deux valves (p. ex.: V1 et V2 à la Figure A.2) sont commutées alternativement de telle sorte qu'à tout moment, soit l'une soit l'autre est conductrice, mais jamais les deux (en pratique, il existe généralement un court temps mort séparant la commutation des deux valves). Lorsque V1 est conductrice, la borne en courant alternatif est connectée à la borne en courant continu supérieure et produit donc une tension de sortie de $+\frac{1}{2}U_{dc}$. Lorsque V2 est conductrice, la borne en courant alternatif est connectée à la borne en courant continu inférieure et produit donc une tension de sortie de $-\frac{1}{2}U_{dc}$. Il existe donc deux niveaux de tension possibles, $\pm\frac{1}{2}U_{dc}$, entre la borne en courant alternatif et le point médian des condensateurs en courant continu.



IEC

Figure A.2 – Convertisseur à deux niveaux

A.4.3 Convertisseurs à trois niveaux

Un convertisseur à neutre clamped (NPC³) triphasé, à trois niveaux est présenté à la Figure A.3. Dans une phase de ce convertisseur, quatre valves de STATCOM indépendantes sont connectées en série (p. ex.: V1 à V4 à la Figure A.3). La borne en courant alternatif est connectée à la borne entre V2 et V3, et les points $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ (entre les valves V1/V2 et V3/V4) sont connectés au point médian en courant continu par l'intermédiaire des valves à diode.

Lorsque les valves V1 et V2 sont conductrices, la borne en courant alternatif est connectée à la borne en courant continu supérieure et produit donc une tension de sortie de $+\frac{1}{2}U_{dc}$. Lorsque les valves V3 et V4 sont conductrices, la borne en courant alternatif est connectée à la borne en courant continu inférieure et produit donc une tension de sortie de $-\frac{1}{2}U_{dc}$. Lorsque les valves V2 et V3 sont conductrices, la borne en courant alternatif est "fixée" au potentiel au niveau du point médian du côté courant continu par les valves à diode. Il existe donc trois niveaux de tension possibles, 0 V et $\pm\frac{1}{2}U_{dc}$, entre la borne en courant alternatif et le point médian des condensateurs en courant continu.

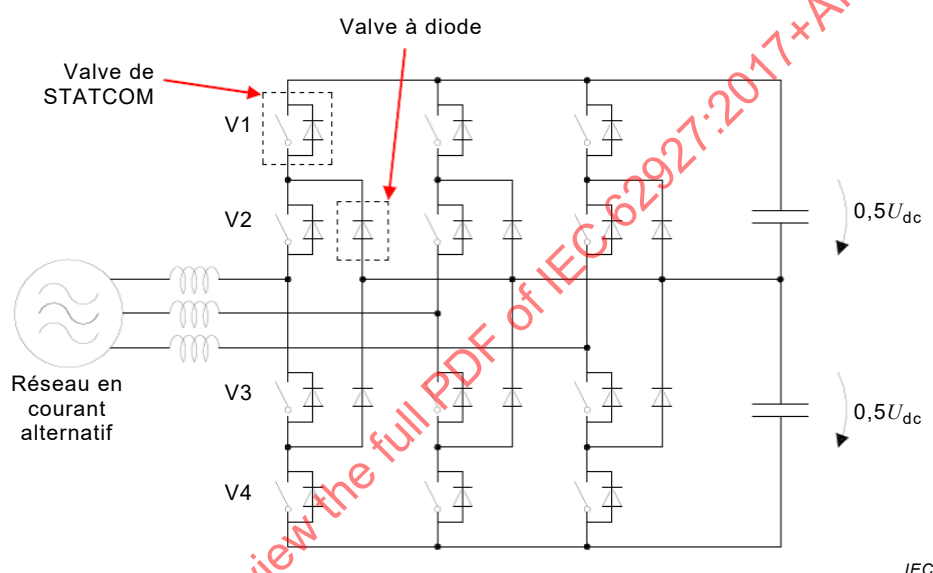


Figure A.3 – Convertisseur NPC à trois niveaux

La Figure A.4 présente un convertisseur triphasé, à trois niveaux à condensateur volant. Ce circuit permet d'atteindre le même résultat que le convertisseur NPC à l'aide d'une méthode différente. Au lieu d'utiliser des valves à diode pour fixer la tension de phase de sortie dans l'une des zones du condensateur en courant continu intermédiaire, il a recours à un convertisseur en courant continu supplémentaire, qui est isolé des bornes en courant continu et qui est donc flottant, ou volant, pour une même utilisation.

Le condensateur volant, connecté entre les bornes partagées par V1/V2 et par V3/V4, a une tension nominale de $\frac{1}{2}U_{dc}$. Comme pour le convertisseur NPC, les valves sont commutées par paires mais le modèle permettant d'atteindre une tension de sortie nulle est différent. Pour atteindre une tension de sortie égale à 0 V, soit les valves V1 et V3, soit les valves V2 et V4 sont mises sous tension. Il est illégal de mettre sous tension V2 et V3 de manière simultanée, car cela entraînerait le court-circuit du condensateur volant.

³ NPC = neutral point clamped.

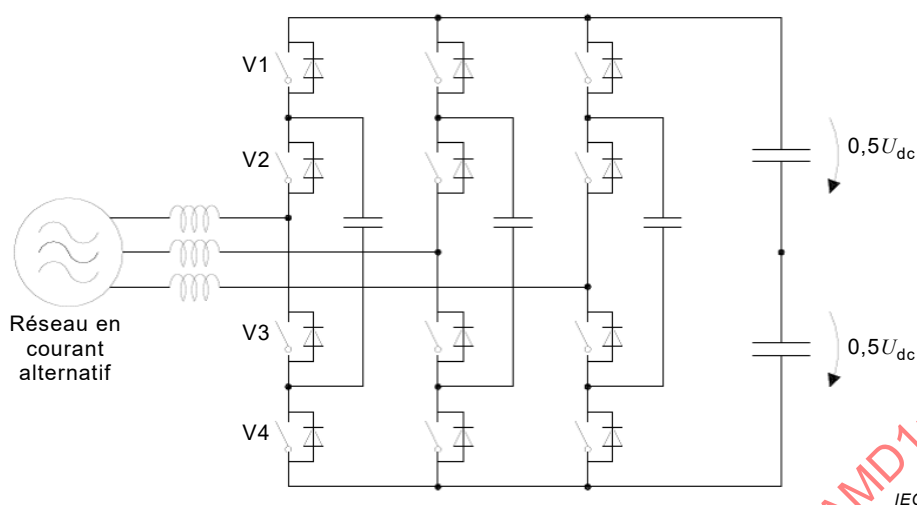


Figure A.4 – Convertisseur à trois niveaux à condensateur volant

A.4.4 Convertisseurs multiniveaux

Les principes utilisés pour les convertisseurs à trois niveaux peuvent être étendus afin de construire des convertisseurs avec davantage de niveaux. Pour ce faire, le condensateur en courant continu est davantage subdivisé et un plus grand nombre de valves de STATCOM et de valves à diode est utilisé. Par exemple, dans un convertisseur NPC à cinq niveaux, le condensateur en courant continu est subdivisé en quatre zones discrètes, et chaque phase contient huit valves de STATCOM et six valves à diode. Dans ce cas, il existe cinq niveaux de tension possibles, 0 V , $\pm\frac{1}{4}U_{dc}$ et $\pm\frac{1}{2}U_{dc}$, entre la borne en courant alternatif et le point médian des condensateurs en courant continu.

Le nombre de niveaux de tension de sortie peut être augmenté à l'aide du convertisseur NPC et du convertisseur à condensateur volant. Cependant, il doit être précisé que la complexité du circuit s'accroît avec le nombre de niveaux de tension. La présentation plus détaillée des convertisseurs présentant un nombre plus élevé de niveaux de tension de sortie ne relève pas du domaine d'application du présent document.

A.5 Valves de STATCOM de type source de tension commandable

Dans le convertisseur à deux niveaux (présenté à la Figure A.2), les valves et le condensateur en courant continu sont des éléments de l'équipement clairement séparés et peuvent être conçus et soumis à l'essai individuellement. Cependant, à mesure que le nombre de niveaux de tension de sortie augmente, la subdivision du ou des condensateurs en courant continu augmente et il en va de même pour leur interdépendance. Lorsque le nombre de niveaux de sortie est davantage augmenté, la subdivision du condensateur en courant continu et l'interconnectivité entre les condensateurs et les IGBT peuvent se compliquer au point de n'être plus utiles pour établir une distinction claire entre elles deux. Dans ce type de cas, il peut s'avérer plus pratique de considérer la "valve de STATCOM" non seulement comme élément de l'IGBT effectuant la commutation, mais également comme condensateur en courant continu distribué. De ce fait, une telle valve ne représente plus simplement un commutateur mais plutôt une source de tension commandable.

Un convertisseur multiniveaux modulaire (MMC) est représenté à la Figure A.5. Dans ce cas, la valve de STATCOM est composée de sources de tension connectées en série (c'est-à-dire de "niveaux de valve de STATCOM" ou de "sous-modules"). La Figure A.5 montre un circuit qui est connecté en triangle et comprend trois niveaux de valve par phase, mais le convertisseur peut très bien être connecté en étoile et comprendre un autre nombre de niveaux de valve.

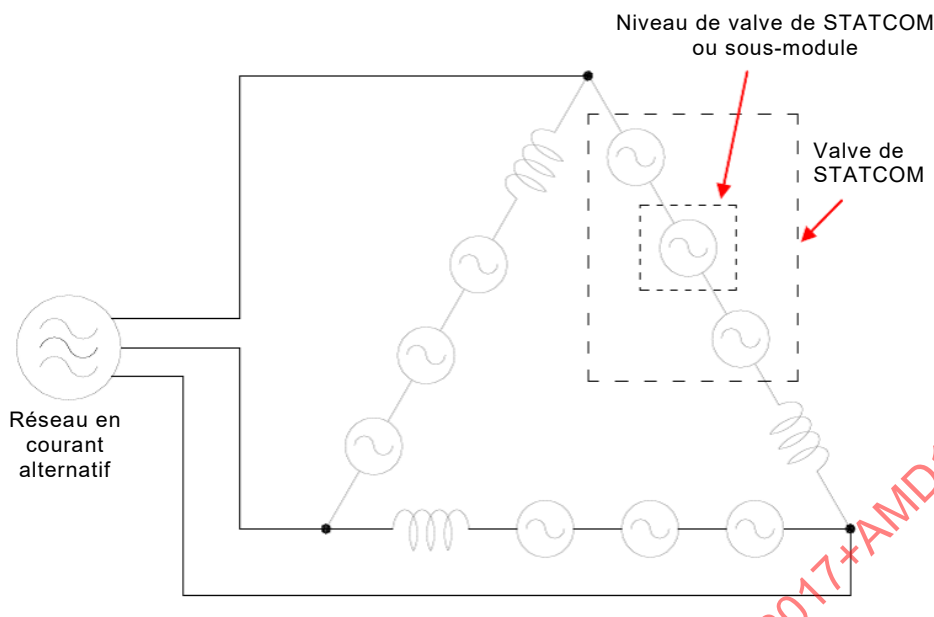


Figure A.5 – Convertisseur multiniveaux modulaire

Le convertisseur destiné à être appliqué à un STATCOM est généralement un convertisseur monophasé en pont complet (également appelé convertisseur en pont H) utilisé pour chacun des niveaux de valve de STATCOM, comme le montre la Figure A.6. Ce convertisseur peut produire trois niveaux de tension de sortie: 0 V lorsque V1 et V3 ou V2 et V4 sont conductrices, $+U_{dc}$ lorsque V1 et V4 sont conductrices et $-U_{dc}$ lorsque V2 et V3 sont conductrices.

Cependant, lorsque ces convertisseurs en pont complet sont connectés en série (voir Figure A.5), un plus grand nombre de niveaux de tension de sortie est obtenu: la valve composée de n niveaux de valve peut générer $2n + 1$ niveaux de tension sur ses sorties. Par conséquent, lorsqu'un plus grand nombre de niveaux de valve est utilisé, une tension de sortie très proche de la forme d'onde sinusoïdale peut être appliquée, et ce même sans avoir recours à la MLI pour les dispositifs de commutation.

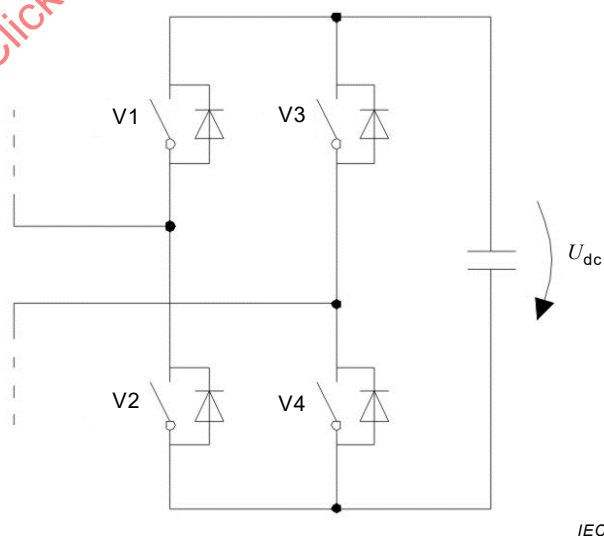


Figure A.6 – Convertisseur monophasé en pont complet

A.6 Principes de commutation de la valve

Il existe deux schémas de commutation de base applicables aux valves de STATCOM, en fonction de leur type et de leur nombre de niveaux.

Pour les convertisseurs de type commutateur, le nombre de niveaux de tension de sortie par convertisseur est généralement si faible que la commutation des composants destinés à cet effet à la fréquence fondamentale ne suffit pas pour obtenir une approximation acceptable de la tension de sortie sinusoïdale de référence. Toutefois, en appliquant le schéma de commutation de la modulation de largeur d'impulsion (MLI), dans lequel les valves sont commutées avec une fréquence relativement plus élevée que la fréquence fondamentale, une tension de sortie raisonnablement sinusoïdale peut être obtenue après filtrage. Les Figures A.7a) et A.7b) présentent deux cas pour lesquels les valves d'un convertisseur à deux niveaux sont commutées à la fréquence fondamentale et en utilisant le schéma de commutation de la modulation de largeur d'impulsion (MLI).

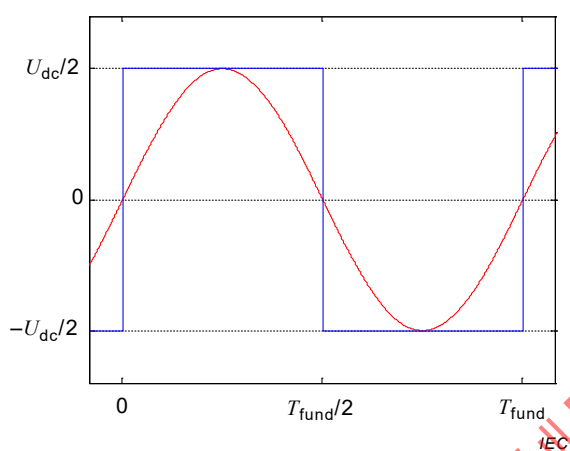


Figure A.7 a) – Sortie d'un convertisseur à deux niveaux sans MLI

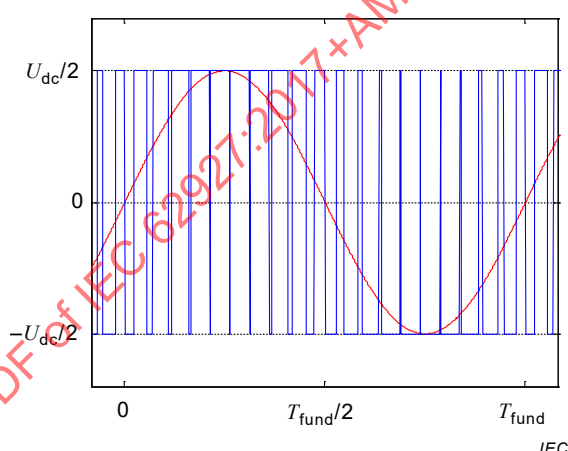


Figure A.7 b) – Sortie d'un convertisseur à deux niveaux avec MLI

Figure A.7 – Tension de sortie d'un convertisseur à deux niveaux

Lorsque le nombre de niveaux de tension de sortie du convertisseur augmente, la tension de sortie se rapproche de la tension sinusoïdale de référence. La forme de la tension de sortie du convertisseur à trois niveaux est présentée à la Figure A.8a) sans application du schéma de commutation de la MLI. Bien que davantage sinusoïdale que la tension de sortie du convertisseur à deux niveaux représentée sur la Figure A.7.a), cette tension de sortie du convertisseur n'est toujours pas suffisamment sinusoïdale, ce qui signifie que le schéma de commutation de la MLI et le filtrage sont exigés dans des conditions réelles d'utilisation d'un STATCOM utilisant un convertisseur à trois niveaux.

En cas d'augmentation du nombre de niveaux de valve, l'application de convertisseurs de type commutateur ne sera pas réalisable en raison de la complexité engendrée. Les valves de convertisseur de type source de tension commandable représentent des solutions mieux adaptées dans ces cas. Les sorties de ces convertisseurs sont proches de la valeur sinusoïdale, et ce même sans avoir recours au schéma de commutation de la MLI en ce qui concerne les valves de STATCOM. Dans ce cas, seul un léger filtrage est nécessaire, voire aucun filtrage. La Figure A.8b) présente la forme d'onde de tension de sortie d'un MMC disposant de cinq sous-modules. Il peut ainsi être constaté que la tension de sortie est plus proche de la tension sinusoïdale, car elle est composée de 11 niveaux.

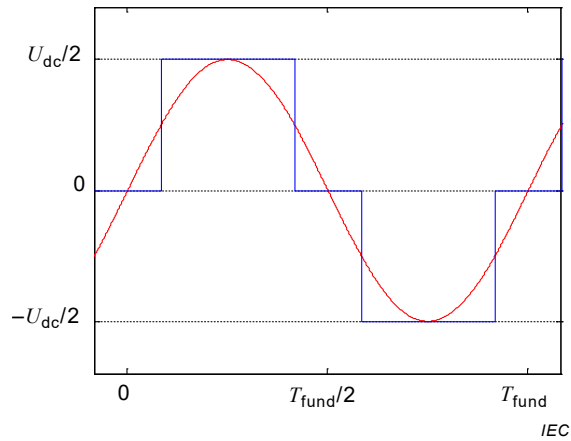


Figure A.8 a) – Sortie d'un convertisseur à trois niveaux

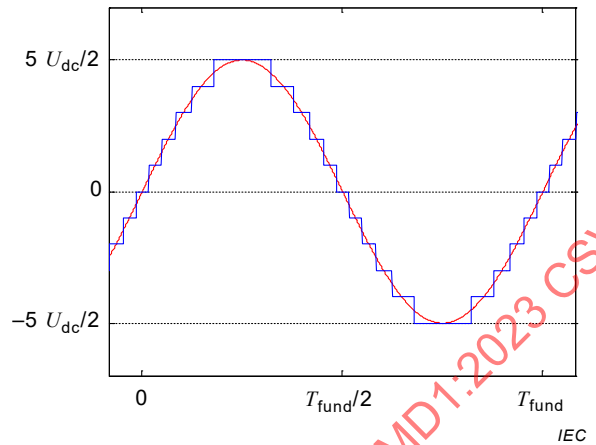


Figure A.8 b) – Sortie d'un MMC

Figure A.8 – Forme de la tension de sortie d'un convertisseur à trois niveaux et d'un convertisseur modulaire multiniveaux

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62927:2017+AMD1:2023 CSV

Annexe B (informative)

Tolérance aux pannes des composants de valves

La capacité de tolérance aux pannes peut se définir comme l'aptitude d'une valve de STATCOM à assurer sa fonction prévue, jusqu'à son arrêt programmé, avec des composants ou sous-assemblages défectueux ou des composants surchargés, sans entraîner de dysfonctionnement inacceptable des autres composants, ni laisser s'étendre les dommages dus à la condition de panne. Des caractéristiques particulières de conception peuvent s'avérer nécessaires pour assurer la tolérance aux pannes. Des exemples de pannes pour lesquelles la mise en œuvre de la tolérance aux pannes peut être exigée sont indiqués ci-dessous.

- a) Dysfonctionnement d'un niveau d'IGBT
- b) Un niveau d'IGBT/de valve en panne doit continuer d'être conducteur du courant de la valve, soit de manière interne par le biais de l'IGBT lui-même, soit de manière externe par l'intermédiaire d'un circuit de dérivation, sans que son utilisation provoque de dommages quelconques.
- c) Manque de câbles sur grille au niveau de valve, provoqué par la perte d'impulsions normales sur grille au niveau en question.
- d) Manque de charges sur grilles pour la mise en parallèle de la surtension des composants au niveau concerné.
- e) Dysfonctionnement de l'isolement d'un condensateur d'amortissement (snubber), d'une résistance d'amortissement ou d'autres composants, le cas échéant.
- f) Dysfonctionnement de l'isolement de tout composant en parallèle avec les dispositifs commutés ou les diodes, pouvant entraîner un courant de charge dans le composant et provoquer une situation de danger.
- g) Fuite de faibles quantités de liquide de refroidissement de la valve.

Si la valve est à refroidissement par liquide, de petites fuites peuvent s'avérer difficiles à détecter. Le liquide de refroidissement échappé peut contaminer des composants sensibles, ce qui entraînerait un dysfonctionnement, et augmenter le risque de dysfonctionnement de l'isolement. Toutefois, l'expérience acquise lors de l'essai en milieu humide réalisé sur les valves d'électronique de puissance à haute tension indique que l'essai en milieu humide de la valve sur une surface de valve neuve et dépourvue de poussière ne permet pas d'identifier des endroits où pourrait se produire une défaillance diélectrique de la valve en service en raison de la fuite de faibles quantités de liquide de refroidissement de la valve.

NOTE L'IEEE Std 857TM-1996, qui est souvent mentionnée pour l'essai en milieu humide, a été supprimée en 2010.

~~h) Si la valve est à refroidissement par liquide, de petites fuites peuvent s'avérer difficiles à détecter. Le liquide de refroidissement échappé peut contaminer des composants sensibles, ce qui entraînerait un dysfonctionnement, et augmenter le risque de dysfonctionnement de l'isolement.~~

Les essais pour démontrer la tolérance aux pannes des éléments de valves ne sont pas catégorisés comme des essais de type, étant donné que la plupart d'entre eux sont des essais destructifs de la valve ou des composants de valves et que les essais sont généralement réalisés sur un petit nombre de niveaux de valve. Il convient que ces essais soient effectués lors de l'étape de conception d'un nouveau type de valves pour la vérification de la conformité de la tolérance aux pannes des composants de valves. Il convient que le fournisseur documente les essais et fournisse un rapport lié au projet, fondé sur les autres éléments pouvant faire office de preuve, sur demande de l'acheteur.

Il convient que le client étudie la conception proposée avec le fournisseur afin de déterminer les risques et les conséquences probables de certains dysfonctionnements. Si nécessaire, il convient de prendre en considération les résultats d'essais spéciaux visant à vérifier les

aspects critiques de la capacité de tolérance aux pannes de la valve. Les détails de chacun de ces essais sont soumis à un accord établi au cas par cas.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62927:2017+AMD1:2023 CSV

Bibliographie

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

IEC 61954, *Compensateurs statiques de puissance réactive (SVC) – Essais des valves à thyristors*

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

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

Cigré, *Static Synchronous Compensator (STATCOM)*, Technical Brochure No. 144, *Working Group 14.19* (disponible en anglais seulement)

IEEE Std 857-1996, *IEEE recommended practice for test procedures for high-voltage direct-current thyristor valves*⁴

⁴ Cette publication a été supprimée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62927:2017+AMD1:2023 CSV

FINAL VERSION

VERSION FINALE



Voltage sourced converter (VSC) valves for static synchronous compensator (STATCOM) – Electrical testing

Valves de convertisseur source de tension (VSC) pour compensateur synchrone statique (STATCOM) – Essais électriques

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 of converter	8
3.4 STATCOM construction terms	9
3.5 Valve structure terms	10
4 General requirements	11
4.1 Guidelines for the performance of type tests	11
4.1.1 General	11
4.1.2 Dielectric tests	11
4.1.3 Operational tests	11
4.1.4 Electromagnetic interference tests	11
4.1.5 Evidence in lieu	11
4.1.6 Test object	12
4.1.7 Test procedure	12
4.1.8 Ambient temperature for testing	12
4.1.9 Frequency for testing	12
4.1.10 Conditions to be considered in determination of type test parameters	12
4.1.11 Test reports	12
4.2 Atmospheric correction factor	12
4.3 Treatment of redundancy	13
4.3.1 Operational tests	13
4.3.2 Dielectric tests	13
4.4 Permissible component failures during type testing	14
5 List of tests	14
6 Operational tests	15
6.1 Purpose of tests	15
6.2 Test object	15
6.3 Test circuit	16
6.4 Maximum continuous operating duty test	16
6.5 Maximum temporary overload operating duty test	17
6.6 Minimum start voltage test	17
7 Dielectric tests on valve support	18
7.1 Purpose of tests	18
7.2 Test object	18
7.3 Test requirements	18
7.3.1 Valve support DC voltage test	18
7.3.2 Valve support AC voltage test	19
7.3.3 Valve support lightning impulse test	20
8 Dielectric tests on multiple valve unit (MVU)	20
8.1 General	20
8.2 Purpose of tests	20
8.3 Test object	20

8.4	Test requirements	21
8.4.1	MVU AC voltage test	21
8.4.2	MVU DC voltage test	21
8.4.3	MVU lightning impulse test	21
9	Dielectric tests between valve terminals	22
9.1	Purpose of the test.....	22
9.2	Test object.....	22
9.3	Test methods	22
9.3.1	General	22
9.3.2	Method 1	23
9.3.3	Method 2	23
9.4	Test requirements	23
9.4.1	Valve AC voltage or AC-DC voltage test	23
9.4.2	Valve switching impulse test	25
10	IGBT overcurrent turn-off test	26
10.1	Purpose of test	26
10.2	Test object.....	26
10.3	Test requirements	26
11	Tests for valve insensitivity to electromagnetic disturbance	27
11.1	Purpose of tests.....	27
11.2	Test object.....	27
11.3	Test requirements	28
11.3.1	General	28
11.3.2	Approach 1	28
11.3.3	Approach 2	28
11.3.4	Acceptance criteria	28
12	Short-circuit current test	28
12.1	Purpose of tests.....	28
12.2	Test object.....	29
12.3	Test requirements	29
13	Production tests.....	29
13.1	General.....	29
13.2	Purpose of tests.....	29
13.3	Test object.....	29
13.4	Test requirements	30
13.5	Production test objectives	30
13.5.1	Visual inspection	30
13.5.2	Connection check	30
13.5.3	Voltage-grading circuit check.....	30
13.5.4	Control, protection and monitoring circuit checks	30
13.5.5	Voltage withstand check	30
13.5.6	Turn-on/turn-off check	30
13.5.7	Pressure test	30
14	Presentation of type test results	31
Annex A (informative)	Overview of STATCOM valves	32
A.1	General.....	32
A.2	STATCOM applications and operating limits	32
A.3	Overview of STATCOM valve types.....	33

A.4	STATCOMs based on switch type valve	33
A.4.1	General	33
A.4.2	Two-level converter	34
A.4.3	Three-level converters	34
A.4.4	Multi-level converters.....	35
A.5	STATCOMs based on controllable voltage source type valve	36
A.6	Valve switching principles	37
Annex B (informative)	Valve component fault tolerance.....	39
Bibliography		40
Figure A.1	– STATCOM U - I characteristics	33
Figure A.2	– Two-level converter	34
Figure A.3	– Three-level NPC converter.....	35
Figure A.4	– Three-level flying capacitor converter	35
Figure A.5	– Modular multilevel converter	36
Figure A.6	– Single-phase full-bridge converter.....	37
Figure A.7	– Two-level converter output voltage	37
Figure A.8	– Output voltage shape of three-level converter and modular multi-level converter	38
Table 1	– Minimum number of valve levels to be tested as a function of the number of valve levels per valve.....	12
Table 2	– Valve level faults permitted during type tests.....	14
Table 3	– List of type tests.....	15

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

VOLTAGE SOURCED CONVERTER (VSC) VALVES FOR STATIC SYNCHRONOUS COMPENSATOR (STATCOM) – 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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.

IEC 62927 edition 1.1 contains the first edition (2017-07) [documents 22F/412/CDV and 22F/431A/RVC] and its amendment 1 (2023-05) [documents 22F/699/CDV and 22F/721/RVC].

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

International Standard IEC 62927 has been prepared by subcommittee 22F: Power electronics for electrical transmission and distribution systems, of IEC technical committee 22: Power electronic systems and equipment.

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

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under webstore.iec.ch in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

VOLTAGE SOURCED CONVERTER (VSC) VALVES FOR STATIC SYNCHRONOUS COMPENSATOR (STATCOM) – ELECTRICAL TESTING

1 Scope

This document applies to self-commutated valves, for use in voltage sourced converter (VSC) for static synchronous compensator (STATCOM). It is restricted to electrical type and production tests.

The tests specified in this document are based on air insulated valves. For other types of valves, the test requirements and acceptance criteria are agreed between the purchaser and the supplier.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60071-1:2019, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60700-1:2015, *Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 1: Electrical testing*

IEC 62501, *Voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) power transmission – Electrical testing*

3 Terms and definitions

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

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

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

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

3.2.1

turn-off semiconductor device

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

Note 1 to entry: There are several types of turn-off semiconductor devices, for example IGBT, IGCT and GTO, which can be used in voltage sourced converters for STATCOM. For convenience, the term IGBT is used throughout this document to refer to the main, controllable turn-off, semiconductor device. However, this document is equally applicable to other types of controllable semiconductor switch device.

3.2.2

gate turn-off thyristor

GTO thyristor

turn-off semiconductor device which can be turned on and off by its gate lead

Note 1 to entry: A GTO thyristor is a special type of thyristor, which is a high-power semiconductor device.

Note 2 to entry: Gate commutated thyristor (GCT) and integrated gate commutated thyristor (IGCT) are special types of GTO thyristor.

3.2.3

insulated gate bipolar transistor

IGBT

transistor provided for power switching having a conduction channel and a PN junction and in which the current flowing through the channel and the junction is controlled by an electric field resulting from a voltage applied between the gate and emitter terminals

3.2.4

free-wheeling diode

FWD

power semiconductor device with diode characteristic connected to an insulated gate bipolar transistor (IGBT) in inverse parallel

Note 1 to entry: An FWD has two terminals: an anode (A) and a cathode (K).

Note 2 to entry: The current through FWDs is in the opposite direction to the IGBT current.

Note 3 to entry: Concepts of "inverse parallel" and "anti-parallel" are identical.

3.2.5

IGBT-diode pair

arrangement of IGBT and FWD connected in inverse parallel

3.3 Operating states of converter

3.3.1

blocking state

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

3.3.2

de-blocked state

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

3.3.3

valve protective blocking

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

3.3.4

voltage step level

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

Note 1 to entry: For a voltage source type valve, one half bridge cell corresponds to one voltage step level and a full bridge cell has two voltage step levels.

3.4 STATCOM construction terms

3.4.1

STATCOM

shunt connected reactive compensation equipment which is capable of generating and/or absorbing reactive power, whose capacitive or inductive output current can be controlled independently of the AC system voltage

Note 1 to entry: Previous alternative terms for the STATCOM have included static var generator (SVG), advanced static var compensator (ASVC) and static synchronous condenser (STATCON).

3.4.2

STATCOM valve

electrically and mechanically combined assembly of IGBT levels, complete with all connections, auxiliary components and mechanical structures, which can be connected in series with each phase of reactor of a STATCOM

Note 1 to entry: Depending 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. For controllable voltage source type converter, the STATCOM controllable voltage source type valve is a complete controllable voltage source assembly, which is generally connected between two AC phases. For switch type converter, the STATCOM switch type valve is an arrangement of IGBTs connected in series and arranged to be switched simultaneously as a single function unit between one AC phase and one DC terminal of the DC capacitor energy storage.

Note 2 to entry: For convenience, the term "STATCOM valve" is shortened as "valve" in this document.

3.4.3

diode valve

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

3.4.4

submodule

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

Note 1 to entry: This definition is only applicable for converters of controllable voltage source type.

3.4.5

switch type valve

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

3.4.6

controllable voltage source type valve

complete controllable voltage source assembly, which is generally connected between AC phases or between one AC terminal and one DC terminal

3.4.7

modular multi-level converter

MMC

multi-level converter in which each VSC valve (see 3.4.5, 3.4.6) consists of a number of MMC building blocks (see 3.4.9) connected in series

3.4.8

cascaded two-level converter

CTL

modular multi-level converter in which each switch position consists of more than one IGBT-diode pair connected in series

3.4.9

MMC building block

self-contained, two-terminal controllable voltage source together with DC capacitor(s) and immediate auxiliaries, forming part of a MMC

3.4.10

STATCOM valve level

the smallest indivisible functional unit of valve

Note 1 to entry: For any valve in which switch devices are connected in series and operated simultaneously, one valve level is one IGBT including its auxiliaries. For modular multilevel converter (MMC) type without IGBT connected in series, one valve level is one submodule (cell) together with its auxiliaries.

3.4.11

diode valve level

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

3.4.12

redundant valve levels

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

Note 1 to entry: In valve designs which contain two or more conduction paths within each cell and have series-connected VSC valve levels in each path, redundant levels shall be counted only in one conduction path in each cell.

3.5 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

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

3.5.3

multiple valve unit

MVU

mechanical arrangement of two or more valves sharing a common valve support, where applicable

3.5.4

valve section

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

3.5.5

valve base electronics

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

4 General requirements

4.1 Guidelines for the performance of type tests

4.1.1 General

The tests described apply to the valve (or valve sections), the valve structure and those parts of the coolant distribution system and firing and monitoring circuits which are contained within the valve structure (internal insulation) or connected between the valve structure and earth (external insulation). Other equipment, such as valve control and protection and valve base electronics, can be essential for demonstrating the correct function of the valve during the tests but are not in themselves the subject of the tests.

4.1.2 Dielectric tests

The purpose of these tests is to verify the valve design for voltage stresses under normal and abnormal repetitive conditions as well as under transient conditions.

In the interest of standardization with other equipment, lightning impulse tests between valve terminals and earth and between phases of a multiple valve unit (MVU) are included. For tests between valve terminals, the only impulse test specified is a switching impulse.

4.1.3 Operational tests

The purpose of these tests is to verify the valve design for combined voltage and current stresses under normal and abnormal repetitive conditions as well as under transient fault conditions.

4.1.4 Electromagnetic interference tests

The principal objective of these tests is to demonstrate the immunity of the valve to electromagnetic interference from within the valve and from outside the valve.

4.1.5 Evidence in lieu

Each design of valve shall be subjected to the type tests specified in this document. If the valve is demonstrably similar to one previously tested, the supplier may, in lieu of performing a type test or individual parts of it, 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.

4.1.6 Test object

The test object 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.

- 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, including redundant levels	Total number of valve levels to be tested
1 to 10	Number of valve levels in one valve
11 to 50	10 valve levels
≥ 51	20% of valve levels in one valve

- c) Generally, the same valve sections are recommended to be used for all type tests. However, 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 shall be demonstrated to have withstood the production tests to ensure proper manufacture.

Subclause 4.1.6 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 8.3.

4.1.7 Test procedure

The tests shall be performed in accordance with IEC 60060 (all parts), where applicable.

4.1.8 Ambient temperature for testing

The tests shall be performed in accordance with IEC 60060 (all parts), where applicable.

4.1.9 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.

4.1.10 Conditions to be considered in determination of type test parameters

Type test parameters shall be determined based on the worst operating and fault conditions to which the valve can be subjected, according to system studies.

4.1.11 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 for site conditions are only applied for altitudes exceeding 1000 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 1000 m ($b_{1\,000\text{ m}}$).
- 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 correction factor for site conditions follows the standard procedure according to IEC 60060-1 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).

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

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 can be imposed upon the distribution of short-circuited valve levels. For example, there can 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 Permissible component failures during type testing

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 and providing the failed valve level permits the rest of the valve or valve section to continue operating without degraded performance.

The valves or valve sections shall be checked before each test, after any preliminary calibration tests, and again after each type test to determine whether or not any insulated gate bipolar transistors (IGBTs) or auxiliary components have failed during the test. Failed IGBTs or auxiliary components found at the end of a type test shall be remedied before further testing of a valve.

If, following a type test, one valve level (or more according to Table 2) has become short or open circuited, then the failed level(s) shall be restored and this type test repeated. Malfunction of valve level and component degrading detected in the routine test after type test are deemed as faults shown by the rightmost column of Table 2.

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

Table 2 – Valve level faults permitted during type tests

Number of valve levels tested	Number of valve levels permitted to become short or open circuited in any one type test	Total number of valve levels permitted to become short or open circuited in all type tests	Additional number of valve levels, in all type tests, which have experienced a fault but have not become short or open circuited
Up to 33	1	1	1
34 to 67	1	2	2
68 to 100	1	3	3
> 100	2	4	4

5 List of tests

List of tests is given in the middle column of Table 3.

Table 3 – List of type tests

Test	Clause or subclause	Test object
Operational type tests		
Maximum continuous operating duty test	6.4	Valve or valve section
Maximum temporary overload operating duty test	6.5	Valve or valve section
Minimum start voltage test	6.6	Valve or valve section
Overcurrent turn-off test	10	Valve or valve section
Short-circuit current test	12	Valve or valve section
Dielectric type tests		
Valve support DC voltage test	7.3.1	Valve support
Valve support AC voltage test	7.3.2	Valve support
Valve support lightning impulse test	7.3.3	Valve support
MVU AC voltage test	8.4.1	MVU
MVU DC voltage test	8.4.2	MVU
MVU lightning impulse test	8.4.3	MVU
Valve AC voltage test	9.4.1.2	Valve or valve section
Valve AC-DC voltage test	9.4.1.3	
Valve switching impulse test	9.4.2	
Test for valve insensitivity to electromagnetic disturbance		
Test for valve insensitivity to electromagnetic disturbance	11	Valve or valve section
Production tests		
Visual inspection	13.5.1	
Connection check	13.5.2	
Voltage-grading circuit check	13.5.3	
Control, protection and monitoring circuit checks	13.5.4	
Voltage withstand check	13.5.5	
Turn-on/turn-off check	13.5.6	
Pressure test	13.5.7	

6 Operational tests

6.1 Purpose of tests

The principal objectives of the operational tests are

- to check the adequacy of the IGBT/diode level and associated electrical circuits in a valve with regard to current, voltage and temperature stresses in the conducting state, blocking state, de-blocked state, at turn-on and turn-off under the worst repetitive stress conditions, and
- to demonstrate correct interaction between valve electronics and power circuits of the 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. For switch type converter valves, the tests specified in 6.2 are valid for valve sections containing five or more

series-connected valve 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. For controllable voltage source type converter valves, the valve section shall consist of three or more series-connected valve levels.

NOTE For controllable voltage source type converter valves, each submodule is independent voltage controlled. So the number of test levels during one test run can be smaller in comparison with switch type converter valve.

The valve or valve sections under test shall be assembled with all auxiliary components. When required, a proportionally scaled valve arrester, if any, 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 DC capacitance, the DC capacitance and its connections to the semiconductor devices are an integral part of the test object.

However, for switch type converter valves, where the DC capacitor is separate from the valve, the DC capacitor needs to be correctly represented in the test circuit. In particular, the series stray inductance in the connections between the DC 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.

In order to reproduce correct heating effects, the operational test should be performed at the service frequency. When the service frequency is different from the test frequency, then the test conditions shall be adjusted so as to approximately compensate the difference in frequency dependent losses, as necessary to demonstrate the proper stressing of the equipment.

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 STATCOM valves:

- maximum continuous insulated gate bipolar transistors (IGBT) junction temperatures;
- maximum continuous free-wheeling diodes (FWDs) junction temperatures;
- maximum continuous snubber component temperatures;
- where snubbers are used, maximum continuous turn-on and turn-off voltage and current.

For diode valves:

- maximum continuous diode junction temperature;
- where snubbers are used, 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 AC 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 test current, in RMS value, shall incorporate a test safety factor of 1,05.

In principle, the test voltage U_{tpv1} corresponding to the maximum continuous operating AC voltage shall be determined as follows:

$$U_{tpv1} = U_{\max} \times k_n \times k_1$$

where

$U_{\max}$ is the maximum continuous operating AC voltage;

k_n is a test scaling factor according to 4.3.1;

k_1 is a test safety factor;

$k_1 = 1,05$.

NOTE Test voltage for MMC valves can be defined by the operating voltage of the submodule capacitor. A test safety factor of 1,05 is applied to the test voltage for MMC valves.

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

6.5 Maximum temporary overload operating duty test

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

The test current shall be the specified overload current without a test safety factor.

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 overload 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 as a test safety factor.

After the temporary overload operation duty test, 10 min maximum continuous operating duty test shall be performed as in 6.4.

6.6 Minimum start 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 or valve energy storage capacitor.

The test voltage $U_{\min}$ is defined as:

$$U_{\min} = \frac{N_{\text{tut}}}{N_t} \times U_{\text{acmin}} \times k_2$$

where

- U_{acmin} is the minimum AC voltage appearing between valve terminals which can start de-blocking operation of the valve;
- N_{tut} is the number of series-connected valve levels under test;
- N_t is the total number of series-connected valve levels in a single valve, including redundancy;
- k_2 is a test safety factor;
- $k_2 = 0,95$.

For minimum start voltage test, only the voltage, neither the current nor the test duration, is important. The test shall show that the valve electronics can start up and work properly.

7 Dielectric tests on valve support

7.1 Purpose of tests

The principal objectives of these tests are the following.

- 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.
- To verify that the partial discharge inception and extinction voltages are above the maximum operating voltage appearing on the valve support.

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 conditions, except for flow rate, which can be reduced.

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

7.3.1 Valve support DC voltage test

This test is applicable only to those designs in which the valve support is exposed to DC voltage in service.

The two main terminals of the valve shall be connected together and the DC 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 as fast as possible, 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 60700-1:2015.

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.

Where possible, the test voltage shall be increased from 50 % to the maximum voltage level within approximately 10 s; longer time may be used. However, this can overstress the test object.

If an increasing trend in the magnitude or rate of partial discharge is observed, the test duration may be extended until equilibrium partial discharge is achieved.

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

Before repeating the test with opposite polarity, the valve support may be short-circuited and earthed for several hours. The same procedure may be followed at the end of the DC voltage test.

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

1 min test:

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

3 h test:

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

where

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

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

k_3 is a test safety factor;

$k_3 = 1,1$;

k_t is the atmospheric correction factor according to 4.2.

7.3.2 Valve support AC voltage test

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

Starting from a voltage not higher than 50 % of the maximum test voltage, the voltage shall be raised to the specified 1 min test voltage, kept constant for 1 min, reduced to the specified 10 min test voltage, kept constant for 10 min and then reduced to zero.

Before the end of the 10 min test, the level of partial discharge shall be monitored and recorded over a 1 min period. If the value of partial discharge is below 200 pC, the design may be accepted unconditionally. If the value of partial discharge exceeds 200 pC, the test results shall be evaluated.

The RMS value of the valve support AC test voltage U_{tas} shall be determined in accordance with the following:

1 min test:

$$U_{tas} = \frac{U_{mS1}}{\sqrt{2}} \times k_4 \times k_t$$

10 min test:

$$U_{\text{tas}} = \frac{U_{\text{mS2}}}{\sqrt{2}} \times k_4$$

where

- U_{mS1} is the peak value of maximum voltage appearing on the valve support in service, particularly in system fault condition and valve fault operation condition. The overvoltage limiting effect of phase arrester or other overvoltage protection means, if any, shall be taken into account to derive this overvoltage;
- U_{mS2} is the peak value of voltage across the valve support in maximum steady-state continuous operations;
- k_4 is a test safety factor of 1,3 for the 1 min test and 1,15 for the 10 min test;
- k_t is the atmospheric correction factor of the value according to 4.2 for the 1 min test.

7.3.3 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 60060-1 shall be used.

The peak test voltage shall be selected in accordance with the insulation co-ordination of the STATCOM valve substation or selected from the standard lightning impulse withstand voltage according to IEC 60071-1:2019, Table 2 or Table 3. When the latter is used, the transformer secondary side (converter side) highest phase-to-phase voltage, instead of the STATCOM valve highest voltage, shall be used as the highest equipment voltage to select the corresponding lightning impulse peak.

8 Dielectric tests on multiple valve unit (MVU)

8.1 General

Clause 8 is only applicable if more than one valve is installed in a common valve structure (multiple valve units). In the case where each individual valve is mounted in one or several dedicated valve structures, Clause 8 is not applicable.

8.2 Purpose of tests

The principal objectives of these tests are

- to verify the voltage withstand capability between single valves in a MVU structure, and
- to verify that the partial discharge levels are within specified limits.

8.3 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 coolant shall be in a condition representative of the most onerous service conditions, except for flow rate, which can be reduced.

It can be necessary to have to short-circuit individual valves depending on the configuration of the MVU and the objectives of the test.

8.4 Test requirements

8.4.1 MVU AC voltage test

If a MVU experiences AC or composite AC plus DC 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 AC 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 10 min value, kept constant for 10 min and then reduced to zero.

Before the end of the 10 min test, the level of partial discharge shall be monitored and recorded over a 1 min period. If the value of partial discharge is below 200 pC, the design may be accepted unconditionally. If the value of partial discharge exceeds 200 pC, the test results shall be evaluated.

The RMS value of MVU AC test voltage U_{tam} shall be determined in accordance with the following:

1 min test:

$$U_{\text{tam}} = \frac{U_{\text{mmp}}}{\sqrt{2}} \times k_5 \times k_t$$

10 min test:

$$U_{\text{tam}} = \frac{U_{\text{mms}}}{\sqrt{2}} \times k_5$$

where

U_{mmp} is the peak value of the maximum voltage, after taking into account the surge arrester, if any, protection effect, between adjacent valves at system fault;

U_{mms} is the peak value of the maximum voltage between adjacent valves of the MVU at steady state operation;

k_5 is a test safety factor of 1,3 for the 1 min test and 1,15 for the 10 min test;

k_t is the atmospheric correction factor of the value according to 4.2 for the 1 min test.

8.4.2 MVU DC voltage test

MVU DC voltage is generally not needed. For design of valves where DC voltage can exist on MVU, test shall be performed according to IEC 62501.

8.4.3 MVU 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 60060-1 shall be used.

The peak test voltage shall be selected in accordance with the insulation co-ordination of the STATCOM valve substation or selected from the standard lightning impulse withstand voltage according to IEC 60071-1:2019, Table 2 or Table 3. When the latter is used, the transformer secondary side (converter side) highest phase-to-phase voltage, instead of the STATCOM valve highest voltage, shall be used as the highest equipment voltage to select the corresponding lightning impulse peak.

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 (DC, AC and switching impulse overvoltages). The tests shall 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, where applicable, have sufficient power rating.

The tests described in Clause 9 are based on standard waveshapes and standard test procedures as developed for the testing of high-voltage AC 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 valves. On the other hand, it must be recognized that a particular STATCOM 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, if provided.

If valve section is used as test object, the minimum number of valve levels shall be representative of a complete valve in terms of dielectric stresses.

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 methods

9.3.1 General

Performing the valve dielectric test presents considerable practical difficulties on valves of the controllable voltage source type because of the high current drawn by the in-built capacitance. For this reason, the following valve dielectric test methods are acceptable.

9.3.2 Method 1

Temporary substitution of a reduced capacitance but the same physical size test capacitor is permissible. This test capacitor shall allow a test voltage build-up across the test object during test.

It may be necessary too to disable gate electronics or other auxiliary circuits in this test, or provide independent means for powering them, in order to prevent interference with partial discharge measurement, for example, from gate unit power supply circuits. In this case, the active voltage control function, if any, provided by gate electronics on each IGBT level is allowed to being represented by other means, for example, high resistance shunt resistors across test IGBT levels.

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

9.3.3 Method 2

Valve dielectric test is done by two steps.

Step one focuses on the component level and step two on the valve or valve section. In step one, module levels are tested independently. In step two, the test is done with submodule levels short-circuited, interconnections between adjacent submodules removed and valve or valve section voltage distribution controlled by an external grading circuit, for example a resistor array, capacitor array or RC array. Insulation and partial discharge tests with AC, DC and/or combined AC-DC voltage shall be performed on sub-component level (e.g., without power module electronics activated and without capacitor) or on full submodule level. The aim is to test both insulation withstand capability for every single sub-component and proofness of partial discharge for every sensitive point within the valve level.

NOTE Atmospheric correction to the specific test voltages can be added in step two.

9.4 Test requirements

9.4.1 Valve AC voltage or AC-DC voltage test

9.4.1.1 General

This test consists of a short-duration test followed by a long-duration test. The short-duration test reproduces the AC voltage or composite AC-DC voltage resulting from certain converter or system faults.

NOTE A composite AC-DC test applies to the valve that is terminated between one DC terminal and one AC phase similar to an HVDC converter.

This test consists of 10 s short-duration and 30 min long-duration voltage test.

This test can be done either by one combined test or by separated short-duration test and long-duration test.

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 voltage as fast as possible, reduced to the specified 30 min test voltage if combined test is performed, or zero if separate test is performed, kept constant for 30 min and then reduced to zero.

Where a separate test is performed, the long-duration test shall be performed after the short-duration test. In long-duration test, starting from a voltage not higher than 50 % of the 30 min test voltage, the voltage shall be ramped up to 30 min test voltage, kept constant for 30 min and then reduced to zero.

For partial discharge measurement, the peak value of the periodic partial discharge recorded during the last minute of the 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.

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

If an increasing trend in the rate or magnitude of partial discharge is observed, the test duration may be extended until equilibrium partial discharge is achieved.

9.4.1.2 Valve AC voltage test

This test is applicable only to valves which are terminated to two AC phases or between one AC phase and neutral.

The RMS value of valve AC test voltage U_{tv} shall be determined in accordance with the following:

10 s test:

$$U_{tv} = \frac{U_{tac1}}{\sqrt{2}} \times k_o \times k_6$$

30 min test:

$$U_{tv} = \frac{U_{tac2}}{\sqrt{2}} \times k_o \times k_6$$

U_{tac1} is the peak value of maximum voltage across valve during operation, including valve de-blocking and blocking operation in system temporary overvoltage condition. The limiting effect of valve voltage control function and valve arrester, if any, shall be taken into account to derive the overvoltage in service condition;

U_{tac2} is the maximum value of the peak steady-state operating voltage appearing across the valve, including switching overshoot;

k_o is a test scaling factor according to 4.3.2;

k_6 is a test safety factor of 1,10.

9.4.1.3 Valve AC-DC voltage test

This test applies to the valve that is terminated between one DC terminal and one AC phase.

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

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

Alternatively, a separate DC voltage source can be used to substitute the capacitor.

The valve test voltage U_{tv} shall be determined in accordance with the following:

10 s test:

$$U_{tv} = (k_{c1} \times U_{tac1} \times \sin(2\pi ft) + U_{tdc1}) \times k_o \times k_7$$

30 min test:

$$U_{tv} = \left(\frac{k_{c2} \times \sqrt{2} U_{\max\text{-cont}} \times \sin(2\pi ft)}{\sqrt{3}} + U_{d\max} \right) \times k_o \times k_7$$

where

- U_{tac1} is the peak value of maximum voltage across valve during operations, including valve de-blocking and blocking operation in system temporary overvoltage condition. The limiting effect of valve voltage control function and valve arrester, if any, shall be taken into account to derive the overvoltage in service condition;
- U_{tdc1} is the maximum transient DC component overvoltage across valve. The limiting effect of valve arrester or pole arrester can be taken into account to derive the overvoltage in service condition;
- $U_{\max\text{-cont}}$ is the maximum steady-state phase-to-phase voltage on the AC system or the valve side of the transformer, if a converter transformer is used in between AC system and converters;
- $U_{d\max}$ is the maximum value of the DC component of the steady-state operating voltage of the DC side;
- k_{c1} is the voltage step overshoot factor related to one output voltage step of the converter, under the condition consistent with that used to define U_{tac1} . For a MMC or cascaded two-level (CTL) type converter, the voltage step overshoot factor relates to the overshoot factor of one cell or submodule;
- k_{c2} is the voltage step overshoot factor related to one output voltage step of the converter, under the condition consistent with that used to define U_{tac2} ;
- k_o is a test scaling factor according to 4.3.2;
- k_7 is a test safety factor of 1,10;
- f is the test frequency, Hz.
- t is the time variable, s.

The use of a capacitor instead of a DC source in the test circuit shall be agreed by manufacturer as the test voltage is higher than actual value.

9.4.2 Valve switching impulse test

The following shall be taken into account during valve switching impulse test.

- a) Influence of valve phase reactor and valve energy storage capacitor to impulses.
- b) The impulse test will be applied only in one polarity for the valve with a half-bridge design. This is the valve voltage withstand polarity. For the valve with a full-bridge design, the test shall be done on both positive and negative polarities.
- c) If the valve impulse withstand levels are equal to or less than the valve AC or AC-DC voltage test level, it is deemed that the valve AC or AC-DC voltage test can cover the impulse tests and consequently the impulse tests can be omitted.

A standard switching impulse voltage waveshape in accordance with IEC 60060-1 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:

$$U_{tsv} = SIPL_v \times k_o \times k_8$$

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_8 is a test safety factor of 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.

$$U_{tsv} = U_{cms} \times k_o \times k_9$$

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_9 is a test safety factor of 1,15.

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

NOTE Same as AC voltage test or AC- DC voltage test performing, the valve switching impulse test presents considerable practical difficulties on valves of the controllable voltage source type because of the large in-built capacitance. The test facility has difficulty in generating the switching impulse voltage. For this reason, the test methods described in 9.3 are applicable here as well.

10 IGBT overcurrent turn-off test

10.1 Purpose of test

The principal objective is to check the adequacy of the STATCOM 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. Depending on the control and protection strategy, more than one test may be required in order to reproduce all relevant stresses.

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

10.2 Test object

Test object is described in 6.2. In case of controllable voltage source type VSC valves, this test may also be performed on valve level. However, certain protection or monitoring circuits shall be represented if they 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 IGBTs (see 6.4) and then initiating an overcurrent event. The control and protection system then detects the overcurrent and suppresses the overcurrent by the valve protective blocking, i.e. by turning off the IGBTs at a current below the maximum safe turn-off limit.

The DC voltage, U_{tpv2} , during the test shall be determined as follows:

$$U_{\text{tpv2}} = U_{\text{dtemp}} \times k_n \times k_{10}$$

where

- U_{dtemp} is the maximum temporary DC overvoltage;
 k_n is a test scaling factor according to 4.3.1;
 k_{10} is a test safety factor;
 $k_{10} = 1,05$.

Test voltage for MMC valves shall be defined by the operating voltage of the submodule capacitor; it shall incorporate a test safety factor of 1,05.

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

11 Tests for valve insensitivity to electromagnetic disturbance

11.1 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 9.4.2) and the IGBT overcurrent turn-off test (see Clause 10) are the most important.

The tests shall demonstrate that

- out-of-sequence or spurious switching of IGBT does not occur,
- the electronic protection circuits installed in the valve operate as intended, and
- 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 document, 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 document.

11.2 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 11.3. In this case, the test object will be a separate valve or valve section according to the approach adopted.

11.3 Test requirements

11.3.1 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.

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

11.3.2 Approach 1

Approach 1 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.

11.3.3 Approach 2

Approach 2 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.

11.3.4 Acceptance criteria

The criteria for acceptance for both approaches 1 and 2 shall be as defined in 11.1.

12 Short-circuit current test

12.1 Purpose of tests

This test is for the valve without fault current switching function and applicable only for the valves with a common DC-link.

The principal objective is to check the adequacy of the devices, especially the diodes, any additional components used to protect the diodes (such as bypass thyristors) and the associated electrical circuits with regard to current stresses under specified short circuit

conditions, for example DC energy storage capacitor terminal to terminal short-circuit fault, until the control and protection circuit breaks the fault current. The STATCOM valves shall be designed to withstand the short-circuit overcurrent for the number of cycles needed to open the main AC circuit breaker, without any failure or damage in the equipment, considering also that a possible recovery voltage could appear. Valve electronics shall normally be energized for the part of the fault event where any actions are taken by it, for example, when blocking the IGBTs or turning on protective devices such as bypass thyristors. For other parts of the fault event, it is not necessary to energize the valve electronics.

12.2 Test object

As described in 6.2.

NOTE Subject to agreement between purchaser and supplier, this test can be done on component level instead of valve or valve section.

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

The fault current amplitude, duration and the number of cycles shall 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.

13 Production tests

13.1 General

Clause 13 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.

13.2 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 valve levels (as appropriate) have adequate voltage withstand capability, and
- consistency and uniformity in production is achieved.

13.3 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.

13.4 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 Clause 13, 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 13.5. The order in which the tests are listed implies neither ranking of importance nor the order in which the tests shall be performed.

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 shall be agreed on a case-by-case basis.

13.5 Production test objectives

13.5.1 Visual inspection

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

13.5.2 Connection check

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

13.5.3 Voltage-grading circuit check

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

13.5.4 Control, protection and monitoring circuit checks

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.

13.5.5 Voltage withstand check

Check that the valve components can withstand the voltage corresponding to the maximum value specified for the valve. The checks shall include AC test voltage or DC voltage or AC-DC combination. Annex B includes information on valve component fault tolerance.

13.5.6 Turn-on/turn-off check

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

13.5.7 Pressure test

Check that there are no coolant leaks.

14 Presentation of type test results

The test report shall include the following information:

- name and address of the laboratory and location where the tests were carried out;
- unambiguous identification of the test object, including type and ratings, serial number and any other information aimed to identify the test object;
- tester, counter signature and date of performance of the test;
- 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 62927:2017+AMD1:2023 CSV

Annex A (informative)

Overview of STATCOM valves

A.1 General

A rapid development of modern semiconductor switches has enabled also the development of power electronics technology in general. In addition to diodes and thyristors, also turn-off semiconductor devices such as metal-oxide-semiconductor field effect transistors (MOSFETs), gate turn-off thyristors (GTOs) gate commutated thyristors (GCTs), integrated gate commutated thyristors (IGCTs) and insulated gate bipolar transistors (IGBTs) are now utilised in various converter types of DC-DC, DC-AC, AC-DC and AC-AC power conversion.

Along with this power electronics evolution, the amount of applications where these converters are used has been increased: they are used in wide range of applications such as switched mode power supplies, motor drives, HVDC-systems. One of the applications is the power conditioning, where static synchronous compensators (STATCOM) are one of the most modern devices.

Basically, the main circuit of STATCOM consists of two-, three- or multi-level converter. With two- and three-level converters, the STATCOM includes a converter bridge that enables bi-directional power flow and a capacitor connected on its DC side serving as an energy storage component. With multi-level converters, the STATCOM typically consists of a number of small bridge converters, each with its own DC energy storage, connected in series between AC phases or from an AC phase to neutral.

Annex A presents the basic operation principles of the STATCOM. However, it is emphasised that a detailed treatment of all possible details, such as all variations in STATCOM valve topologies, are beyond the scope of this document. The purpose of Annex A is only to present a brief overview about basic features of the STATCOM and the converters used within.

A.2 STATCOM applications and operating limits

The compensation power of STATCOM is generally from couple of MVAs to couple of hundreds of MVAs and its control principle is chosen based on the target of its operation. On one hand, STATCOMs are used in utility applications, where the purpose is to support the supply grid voltage. In here, STATCOM is typically used for voltage regulation, power factor correction or reactive power compensation. On the other hand, STATCOMs can be used in industrial applications where the aim is to protect the supply grid against the disturbances generated by a large load. Typical control targets in this case are balancing of unsymmetrical phases, flicker control or filtering of harmonics.

The basic operating principle of the STATCOM is essentially different from static var compensator (SVC), which is also used in reactive power compensation. Since STATCOM is based on the utilisation of turn-off semiconductor switches, its response speed is remarkably faster. In addition to this, since a DC storage is always a part of STATCOM converter, its compensation characteristics are not so dependent on the supply grid characteristics as is the case with SVC.

Figure A.1 presents the principal $U-I$ characteristics of the STATCOM. It is noticed that STATCOM is able to generate full compensation current with very low supply grid voltage. In theory, grid voltage can even be close to zero. However, in this case, STATCOM would need external power source on DC side to compensate its losses and to maintain DC side voltage at required level.

Without external power source, it is necessary for STATCOM to draw also active power from the supply grid in order to maintain DC voltage at required level. Since this has to be done without exceeding current rating of the STATCOM converter, the minimum grid voltage for its operation is typically between 0,2 p.u. and 0,4 p.u. When the voltage is higher than this, STATCOM is able to generate full output current independently on the grid voltage level. Therefore, the maximum reactive power generated or drawn by the STATCOM is only linearly dependent on the grid voltage level, whereas in the case of SVC it is dependent on the second power of grid voltage.

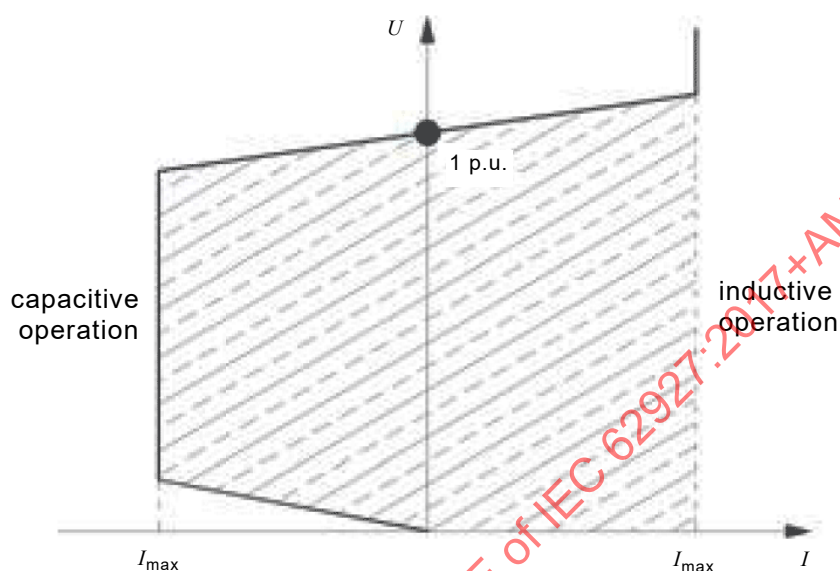


Figure A.1 – STATCOM U - I characteristics

A.3 Overview of STATCOM valve types

There are several three-phase, two-, three-, or multilevel converter types which can be used to make a STATCOM. These are well described in literature and it is far beyond the scope of this document to present them all. However, the basic function block of STATCOM, a STATCOM valve, can be identified in all of these topologies. All STATCOM valves fall into one of the two following categories:

- STATCOM valves of the switch type: these switch type valves function only as a controllable switch with only two permanent states: on and off. In converters based on this topology, the DC capacitors are completely separated from the valves and can be tested in isolation;
- STATCOM valves of the controllable voltage source type: in valves of this type, the DC capacitors form an integral part of the valve and cannot be separated from it for testing purposes.

A.4 STATCOMs based on switch type valve

A.4.1 General

STATCOM valves of this type bear close apparent resemblance to conventional thyristor valves, in that they consist 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 the low number of output levels, such converters usually use pulse width modulation (PWM) switching scheme 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 STATCOM valve are described in A.4.2 to A.4.4.

A.4.2 Two-level converter

In the simplest case, the STATCOM is based on two-level converter. Two-level converter is shown in Figure A.2. Each of its phase units consists only of two STATCOM valves connected in series and sharing an AC terminal.

The two valves (e.g. V1 and V2 in Figure A.2) are switched alternatively such that, at any given time, either one or other valve is conducting, but never both (in practice, there is usually a short dead-time between switching of two valves). When V1 is conducting, the AC terminal is connected to upper DC terminal and therefore produces an output voltage $+\frac{1}{2}U_{dc}$. When V2 is conducting, the AC terminal is connected to the lower DC terminal and therefore produces an output voltage $-\frac{1}{2}U_{dc}$. Therefore, there exist two possible voltage levels, $\pm\frac{1}{2}U_{dc}$, between the AC terminal and the mid-point of the DC capacitors.

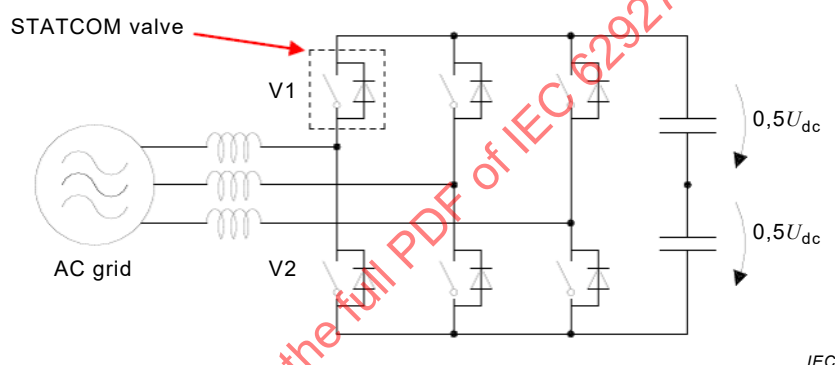


Figure A.2 – Two-level converter

A.4.3 Three-level converters

Three-phase, three-level neutral point clamped (NPC) converter is shown in Figure A.3. In the phase unit of this converter, four independent STATCOM valves are connected in series (e.g. V1 to V4 in Figure A.3). The AC 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 DC midpoint via diode valves.

When valves V1 and V2 are conducting, the AC terminal is connected to the upper DC terminal and therefore produces an output voltage of $+\frac{1}{2}U_{dc}$. When valves V3 and V4 are conducting, the AC terminal is connected to the lower DC terminal and therefore produces an output voltage of $-\frac{1}{2}U_{dc}$. When valves V2 and V3 are conducting, the AC terminal is "clamped" to the DC side midpoint potential by the diode valves. Due to this, there exist three possible voltage levels, 0 V and $\pm\frac{1}{2}U_{dc}$, between the AC terminal and the mid-point of the DC capacitors.

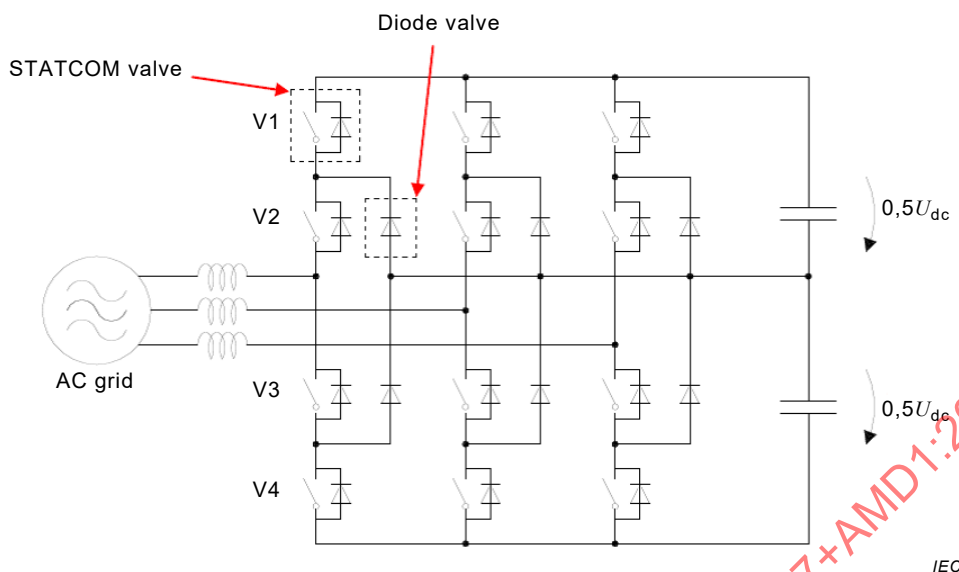


Figure A.3 – Three-level NPC converter

Figure A.4 presents a three-phase, three-level flying capacitor converter. This circuit achieves the same result as the NPC converter by different method. Instead of using diode valves to clamp the output phase voltage to one of the intermediate DC capacitor stages, it uses an additional DC capacitor, which is isolated from the DC terminals and hence floating, or "flying", to achieve similar operation.

The flying capacitor, which is connected between the terminals shared by V1/V2 and V3/V4, has a nominal voltage of $\frac{1}{2}U_{dc}$. As with NPC converter, the valves are switched in pairs but the pattern to achieve zero output voltage is different. To achieve an output voltage of 0 V, either valves V1 and V3 or valves V2 and V4 are switched on. It is illegal to switch on V2 and V3 simultaneously as this would short-circuit the flying capacitor.

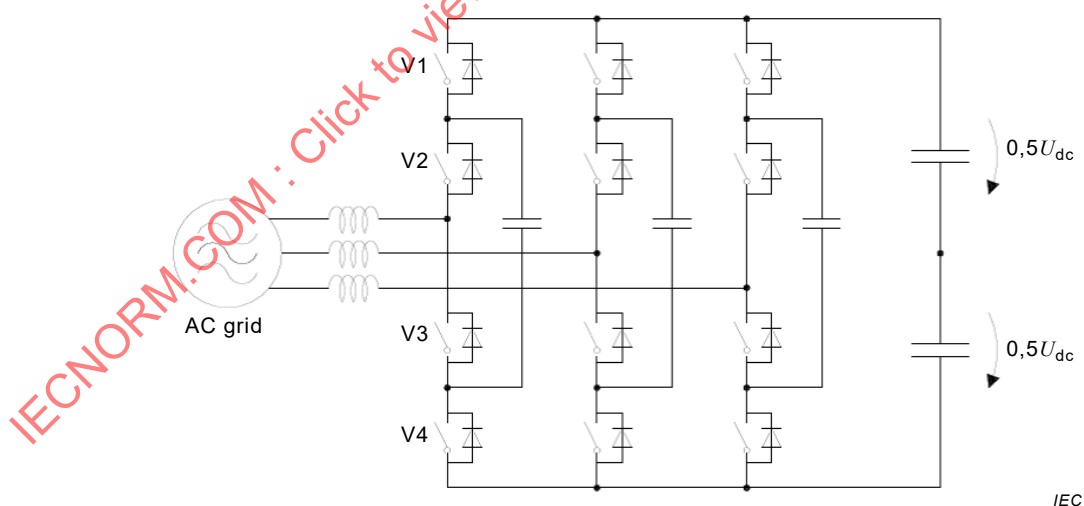


Figure A.4 – Three-level flying capacitor converter

A.4.4 Multi-level converters

The principles used in case of three-level converters may be extended to create converters with higher amount of levels. This is done by subdividing DC capacitor further and using more STATCOM valves and diode valves. For example, in five-level NPC converter, DC capacitor is subdivided into four discrete stages, and there are eight STATCOM valves and six diode

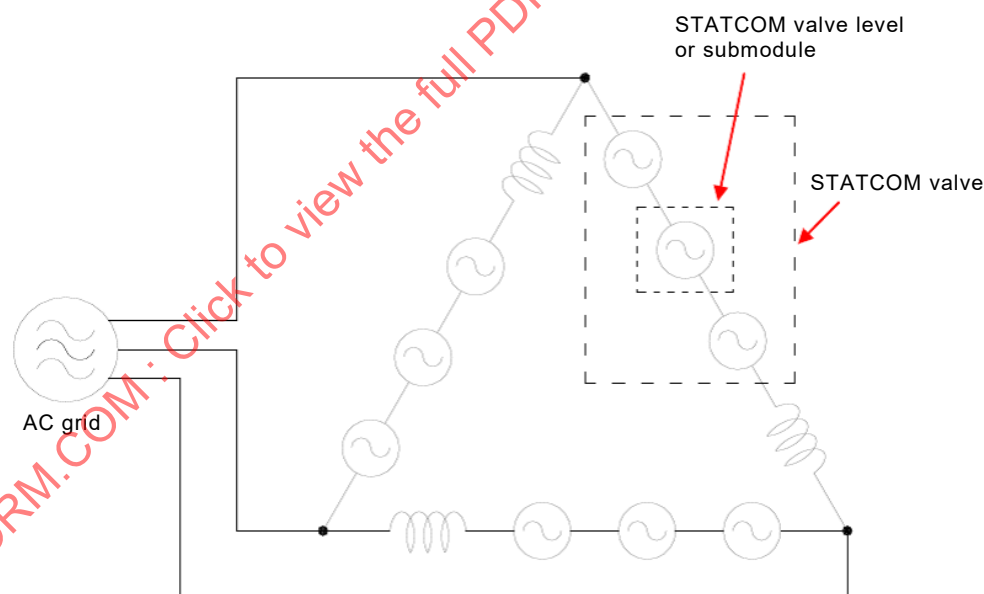
valves per phase. In this case, there exist five possible voltage levels, 0 V, $\pm\frac{1}{4}U_{dc}$ and $\pm\frac{1}{2}U_{dc}$, between the AC terminal and the mid-point of the DC capacitors.

Output voltage levels can further be increased with both NPC converter and flying capacitor converter. However, it has to be noticed that the complexity of the circuit increases in respect of voltage levels. Presenting converters with higher numbers of output voltage levels more closely is beyond the scope of this document.

A.5 STATCOMs based on controllable voltage source type valve

In the two-level converter (presented in Figure A.2), the valves and DC capacitor are clearly separated items of equipment and can be designed and tested in isolation. However, as the number of output voltage levels is increased, the DC capacitor(s) become increasingly subdivided and DC capacitors become increasingly inter-dependent. When the number of levels is further increased, the subdivision of the DC 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 STATCOM valve to be not simply the IGBT elements that perform the switching, but also the distributed DC capacitors. Because of this, such a valve is no longer simply a switch but is rather a controllable voltage source.

A modular multi-level converter (MMC) is shown in Figure A.5. In this case, the STATCOM valve consists of series-connected voltage sources (i.e. STATCOM valve levels or submodules). Although circuit in Figure A.5 is delta-connected and comprises of three valve levels per phase, converter may as well be star-connected and include any amount of valve levels.



IEC

Figure A.5 – Modular multilevel converter

In converters used in STATCOM applications, each STATCOM valve level consists generally of single-phase full-bridge converter (also known as "H-bridge converter"), presented in Figure A.6. This converter is capable of producing three output voltage levels: 0 V when V1 and V3 or V2 and V4 are conducting, $+U_{dc}$ when V1 and V4 are conducting, and $-U_{dc}$ when V2 and V3 are conducting.

However, when these full-bridge converters are connected in series as in Figure A.5, more levels to output voltage are achieved: the valve that consists of n valve levels can generate

$2n + 1$ voltage levels in its output. Therefore, when a large number of valve levels is used, an output voltage which is very close to sinusoidal waveform can be applied even without using PWM-operation in switching devices.

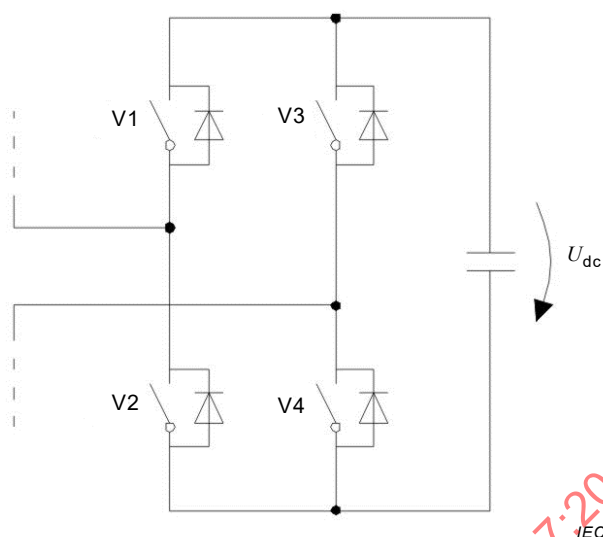


Figure A.6 – Single-phase full-bridge converter

A.6 Valve switching principles

There are two basic switching schemes for STATCOM valves depending on their valve type and number of valve levels.

In case of switch type converters, the number of converter output voltage levels is usually so low that acceptable approximation of sinusoidal output voltage reference is not reached by switching the switching components at fundamental frequency. However, by employing pulse width modulation (PWM) switching scheme, where the valves are switched with remarkably higher frequency than fundamental, it is possible to obtain an output voltage that is, after filtering, reasonably sinusoidal. In Figures A.7 a) and A.7 b) are shown two cases, where the valves of two-level converter are switched with fundamental frequency and by using PWM switching scheme.

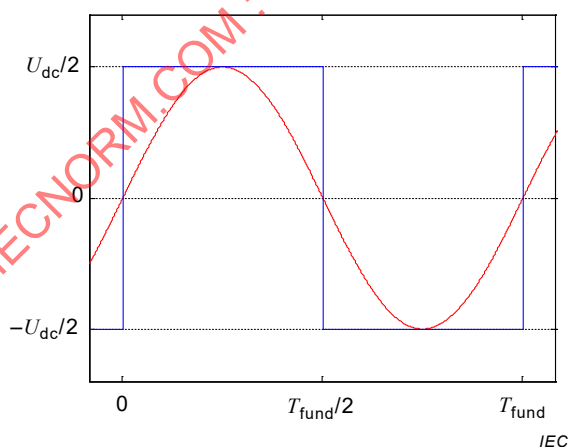


Figure A.7 a) – Two-level converter output without PWM

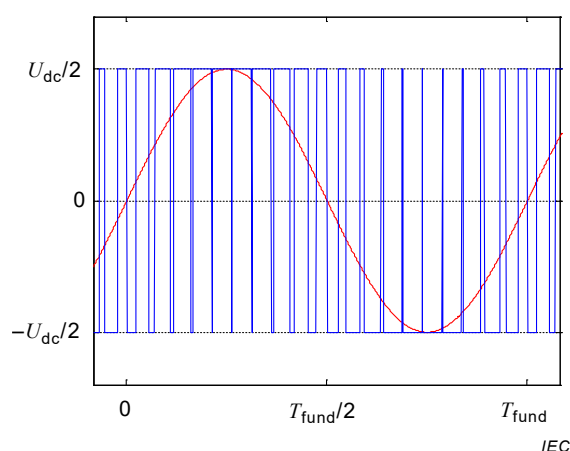


Figure A.7 b) – Two-level converter output with PWM

Figure A.7 – Two-level converter output voltage

As the number of converter output voltage levels is increased, the output voltage becomes closer to sinusoidal voltage reference. The output voltage shape of three-level converter is presented in Figure A.8 a) without applying PWM switching scheme. Although more sinusoidal than for the two-level converter in Figure A.7 a), this converter output voltage is still not sinusoidal enough, i.e PWM switching scheme and filtering is required in real STATCOM operation using a three-level converter.

When the number of valve levels is further increased, appliance of switch type converters will become impractical due to their complexity. In this case, converters with controllable voltage source type valves are more convenient solution. The outputs of such converters are close to sinusoidal even without using PWM switching scheme in STATCOM valves. In this case, only light or no filtering is needed. Figure A.8 b) presents the output voltage waveform of MMC with five submodules. It can be seen that in this case the output voltage is closer to sinusoidal as it consists of 11 levels.

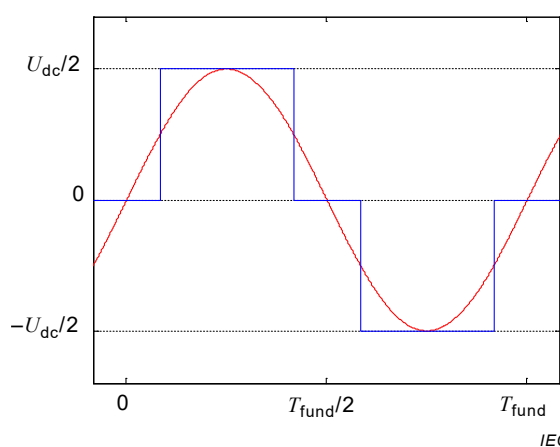


Figure A.8 a) – Three-level converter output

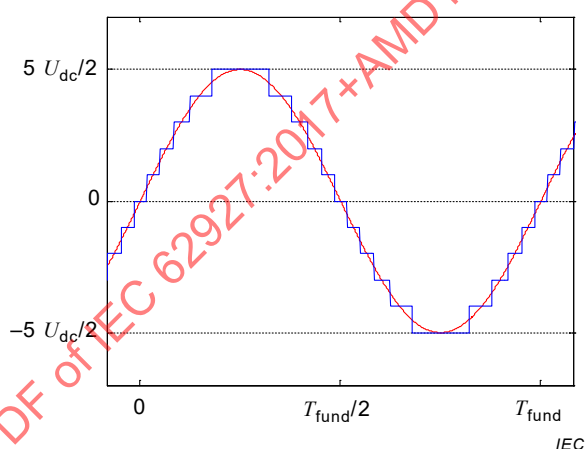


Figure A.8 b) – MMC output

Figure A.8 – Output voltage shape of three-level converter and modular multi-level converter

Annex B (informative)

Valve component fault tolerance

Fault tolerance capability may be defined as the ability of an STATCOM 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) Failure of an IGBT level
- b) Fault IGBT/valve level shall continue conducting the valve current either by IGBT itself internally or by external bypass circuit, without generation of any harmful operation conditions in service.
- c) Missing of on-gate at one valve level due to loss of normal on-gate pulses to that level
- d) Missing of on-gate leads to parallel overvoltage of the components at the affected level.
- e) Insulation failure of a snubber capacitor, snubber resistor or other components if applicable
- f) Insulation failure of any component in parallel with the switch devices or diodes can attract load current into it, leading to a hazardous condition.
- g) 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. However, experience acquired in the wet test performed on high-voltage power electronic valves indicates that the valve wet test on a new and dust free valve surface is unable to identify locations where might cause valve dielectric failure in service due to the leakage of small quantities of valve coolant

NOTE IEEE Std 857TM-1996, to which the wet test is often referred to, was withdrawn in 2010.

Tests to demonstrate the valve component fault tolerance are not categorized as type tests since most of them are destructive tests of valve or valve components and the tests are usually done on small number of valve levels. Those tests should be done in design stage of new type of valves for compliance check of valve fault component tolerance. Supplier should document the tests and provide project related report, based on evidence in lieu, on purchasers' request.

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 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

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

IEC 61954, *Static var compensators (SVC) – Testing of thyristor valves*

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

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

CIGRE, *Static Synchronous Compensator (STATCOM)*, Technical Brochure No. 144, Working Group 14.19

IEEE Std 857-1996, *IEEE recommended practice for test procedures for high-voltage direct-current thyristor valves*¹

¹ This publication has been withdrawn.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62927:2017+AMD1:2023 CSV

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	48
3.2 Termes relatifs au semiconducteur de puissance	48
3.3 Etats de fonctionnement du convertisseur	49
3.4 Termes relatifs à la construction du STATCOM	49
3.5 Termes relatifs à la structure de la valve	51
4 Exigences générales	51
4.1 Lignes directrices pour l'exécution des essais de type	51
4.1.1 Généralités	51
4.1.2 Essais diélectriques	52
4.1.3 Essais de fonctionnement	52
4.1.4 Essais de brouillage électromagnétique	52
4.1.5 Autres éléments pouvant faire office de preuve	52
4.1.6 Objet d'essai	52
4.1.7 Procédure d'essai	53
4.1.8 Température ambiante pour les essais	53
4.1.9 Fréquence des essais	53
4.1.10 Conditions à prendre en considération pour la détermination des paramètres des essais de type	53
4.1.11 Rapports d'essai	53
4.2 Facteur de correction atmosphérique	53
4.3 Traitement de la redondance	54
4.3.1 Essais de fonctionnement	54
4.3.2 Essais diélectriques	54
4.4 Dysfonctionnements de composants admissibles au cours des essais de type	54
5 Liste des essais	55
6 Essais de fonctionnement	56
6.1 Objectif des essais	56
6.2 Objet d'essai	57
6.3 Circuit d'essai	57
6.4 Contraintes maximales à reproduire durant les essais de fonctionnement en continu	57
6.5 Essai d'endurance en fonctionnement en surcharge temporaire maximale	58
6.6 Essai de tension de démarrage minimale	59
7 Essais diélectriques sur le support de valve	59
7.1 Objectif des essais	59
7.2 Objet d'essai	59
7.3 Exigences relatives aux essais	60
7.3.1 Essai de tension continue du support de valve	60
7.3.2 Essai de tension alternative du support de valve	61
7.3.3 Essai d'impulsion de foudre du support de valve	61
8 Essais diélectriques sur une unité de valve multiple (MVU)	62
8.1 Généralités	62

8.2	Objectif des essais.....	62
8.3	Objet d'essai.....	62
8.4	Exigences relatives aux essais	62
8.4.1	Essai de tension alternative de la MVU.....	62
8.4.2	Essai de tension continue de la MVU.....	63
8.4.3	Essai d'impulsion de foudre de la MVU.....	63
9	Essais diélectriques entre les bornes de la valve.....	63
9.1	Objectif de l'essai	64
9.2	Objet d'essai.....	64
9.3	Méthodes d'essai.....	64
9.3.1	Généralités.....	64
9.3.2	Méthode 1	65
9.3.3	Méthode 2	65
9.4	Exigences relatives aux essais	65
9.4.1	Essai de tension alternative ou composite alternative/continue de la valve.....	65
9.4.2	Essai d'impulsion de commutation de la valve	68
10	Essai de mise hors tension de l'IGBT en cas de surintensité.....	69
10.1	Objectif de l'essai	69
10.2	Objet d'essai.....	69
10.3	Exigences relatives à l'essai	69
11	Essais d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques	70
11.1	Objectif des essais.....	70
11.2	Objet d'essai.....	70
11.3	Exigences relatives aux essais.....	70
11.3.1	Généralités.....	70
11.3.2	Première approche	70
11.3.3	Deuxième approche.....	71
11.3.4	Critères d'acceptation.....	71
12	Essai de courant de court-circuit.....	71
12.1	Objectif des essais.....	71
12.2	Objet d'essai.....	72
12.3	Exigences relatives aux essais	72
13	Essais de production	72
13.1	Généralités	72
13.2	Objectif des essais.....	72
13.3	Objet d'essai.....	72
13.4	Exigences relatives aux essais	73
13.5	Objectifs des essais de production.....	73
13.5.1	Examen visuel	73
13.5.2	Vérification de la connexion.....	73
13.5.3	Vérification du circuit d'évaluation de la tension.....	73
13.5.4	Vérification des circuits de commande, de protection et de surveillance	73
13.5.5	Vérification de la tenue en tension.....	73
13.5.6	Vérification de la mise sous/hors tension	74
13.5.7	Essais de pression	74
14	Présentation des résultats d'essais de type	74
Annexe A (informative)	Présentation des valves de STATCOM	75

A.1	Généralités	75
A.2	Applications et limites d'exploitation d'un STATCOM.....	75
A.3	Présentation des types de valves de STATCOM	76
A.4	Valves de STATCOM de type commutateur.....	77
A.4.1	Généralités	77
A.4.2	Convertisseur à deux niveaux.....	77
A.4.3	Convertisseurs à trois niveaux.....	78
A.4.4	Convertisseurs multiniveaux	79
A.5	Valves de STATCOM de type source de tension commandable.....	79
A.6	Principes de commutation de la valve	81
Annexe B (informative)	Tolérance aux pannes des composants de valves	83
Bibliographie.....		84
Figure A.1	– Caractéristiques de la courbe $U-I$ d'un STATCOM	76
Figure A.2	– Convertisseur à deux niveaux	77
Figure A.3	– Convertisseur NPC à trois niveaux.....	78
Figure A.4	– Convertisseur à trois niveaux à condensateur volant.....	79
Figure A.5	– Convertisseur multiniveaux modulaire	80
Figure A.6	– Convertisseur monophasé en pont complet.....	80
Figure A.7	– Tension de sortie d'un convertisseur à deux niveaux	81
Figure A.8	– Forme de la tension de sortie d'un convertisseur à trois niveaux et d'un convertisseur modulaire multiniveaux	82
Tableau 1	– Nombre minimal de niveaux de valve à soumettre à l'essai en fonction du nombre de niveaux de valve par valve	52
Tableau 2	– Défauts des niveaux de valves admis au cours des essais de type	55
Tableau 3	– Liste des essais de type	56

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

VALVES DE CONVERTISSEUR SOURCE DE TENSION (VSC) POUR COMPENSATEUR SYNCHRONE STATIQUE (STATCOM) – ESSAIS ÉLECTRIQUES

AVANT-PROPOS

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

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

L'IEC 62927 édition 1.1 contient la première édition (2017-07) [documents 22F/412/CDV et 22F/431A/RVC] et son amendement 1 (2023-05) [documents 22F/699/CDV et 22F/721/RVC].

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

La Norme internationale IEC 62927 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 l'IEC: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

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

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

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

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

VALVES DE CONVERTISSEUR SOURCE DE TENSION (VSC) POUR COMPENSATEUR SYNCHROME STATIQUE (STATCOM) – ESSAIS ÉLECTRIQUES

1 Domaine d'application

Le présent document s'applique aux valves autocommutées, conçues pour être utilisées dans un convertisseur source de tension (VSC¹) pour compensateur synchrone statique (STATCOM). Elle se limite aux essais de type électrique et de production.

Les essais spécifiés dans le présent document sont établis pour des valves isolées à l'air. Pour les autres types de valves, les exigences relatives aux essais et les critères d'acceptation font l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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 s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

IEC 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

IEC 60071-1:2019, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

IEC 60700-1:2015, *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 1: Essais électriques*

IEC 62501, *Valves à convertisseur de source de tension (VSC) pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Essais électriques*

3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

¹ VSC = valve sourced converter.

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 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 semiconducteur de puissance

3.2.1

dispositif à semiconducteur blocable

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

Note 1 à l'article: Il existe plusieurs types de dispositifs à semiconducteur blocables (p. ex.: IGBT, IGCT et GTO) qui peuvent être utilisés dans les convertisseurs source de tension pour STATCOM. Pour des raisons pratiques, le terme IGBT est utilisé tout au long du présent document pour faire référence au principal dispositif à semiconducteur contrôlable à la fermeture. Cependant, le présent document s'applique également aux autres types de dispositifs à semiconducteur blocables.

3.2.2

thyristor commandable à l'extinction

thyristor GTO

dispositif à semiconducteur blocable qui peut être réactivé et coupé à l'aide de l'électrode de commande, ou gâchette

Note 1 à l'article: Un thyristor commandable à l'extinction (thyristor GTO) est un type spécifique de thyristor, un thyristor étant un dispositif à semiconducteur à puissance élevée.

Note 2 à l'article: Le thyristor commuté à grille (GCT, *gate commutated thyristor*) et le thyristor commuté à grille intégrée (IGCT, *integrated gate commutated thyristor*) sont des types spécifiques de thyristors GTO.

Note 3 à l'article: L'abréviation "GTO" est dérivée du terme anglais développé correspondant "gate turn-off".

3.2.3

transistor bipolaire à grille isolée

IGBT

transistor de commande (ouverture et fermeture) de puissance disposant d'un canal conducteur et d'une jonction PN, dans lesquels le courant qui circule est commandé par un champ électrique émis par une tension appliquée entre les bornes de la grille et de l'émetteur

Note 1 à l'article: L'abréviation "IGBT" est dérivée du terme anglais développé correspondant "Insulated Gate Bipolar Transistor".

3.2.4

diode de roue libre

DRL

dispositif à semiconducteur de puissance ayant les caractéristiques d'une diode connectée à un transistor bipolaire à grille isolée (IGBT) en antiparallèle

Note 1 à l'article: Une DRL possède deux bornes: une anode (A) et une cathode (K).

Note 2 à l'article: Le courant dans les DRL circule dans le sens opposé au courant de l'IGBT.

Note 3 à l'article: Les termes "parallèle inverse" et "antiparallèle" correspondent à un concept identique.

3.2.5

paire diode-IGBT

combinaison de l'IGBT et de la DRL connectés en antiparallèle

3.3 Etats de fonctionnement du convertisseur

3.3.1

état bloqué

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

3.3.2

état débloqué

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

3.3.3

blocage de protection de la valve

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

3.3.4

palier de tension

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

Note 1 à l'article: Pour une valve de type source de tension, une cellule en demi-pont correspond à un palier de tension et une cellule en pont complet correspond à deux paliers de tension.

3.4 Termes relatifs à la construction du STATCOM

3.4.1

STATCOM

équipement de compensation réactive shunt capable de générer et/ou d'absorber une puissance réactive, dont le courant de sortie capacitif ou inductif peut être commandé indépendamment de la tension système alternative

Note 1 à l'article: "Générateur statique de puissance réactive" (SVG, *static var generator*), "compensateur statique de puissance réactive avancé" (ASVC, *advanced static var compensator*) et "condensateur synchrone statique" (STATCON, *static synchronous condenser*) sont des termes précédemment utilisés pour désigner un STATCOM.

3.4.2

valve de STATCOM

assemblage électrique de plusieurs niveaux d'IGBT, combiné avec l'ensemble de la connectique, des composants auxiliaires et des structures mécaniques, et qui peut être connecté en série avec la bobine d'inductance de chaque phase d'un STATCOM

Note 1 à l'article: En fonction de la topologie du convertisseur, une valve peut avoir le rôle d'un commutateur commandable ou d'une source de tension commandable. Pour les convertisseurs de type source de tension commandable, la valve de STATCOM de type source de tension commandable est un assemblage complet à source de tension commandable généralement connecté entre deux phases en courant alternatif. Pour les convertisseurs de type commutateur, la valve de STATCOM de type commutateur est une combinaison d'IGBT connectés en série et configurés de manière à être commutés simultanément, comme une unité fonctionnelle simple, entre une phase en courant alternatif et une borne en courant continu du condensateur de stockage d'énergie en courant continu.

Note 2 à l'article: Pour plus de commodité, le terme "valve" est utilisé en lieu et place du terme "valve de STATCOM" dans le présent document.

3.4.3

valve à diode

valve à semiconducteur comprenant uniquement des diodes comme principaux dispositifs à semiconducteur, pouvant servir dans certaines topologies de STATCOM

3.4.4

sous-module

partie d'une valve comprenant des commutateurs et des diodes commandables connectés en demi-pont ou en pont complet, ainsi que leurs auxiliaires immédiats et condensateur de stockage, le cas échéant, où chaque commutateur commandable comporte un ou plusieurs dispositifs à valve commutés connectés en série

Note 1 à l'article: Cette définition est uniquement applicable aux convertisseurs à source de tension commandable.

3.4.5

valve de type commutateur

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

3.4.6

valve de type source de tension commandable

assemblage complet à source de tension commandable, connecté généralement entre des phases en courant alternatif ou entre une borne à courant alternatif et une borne à courant continu

3.4.7

convertisseur multiniveaux modulaire

MMC

convertisseur multiniveaux modulaire dans lequel chaque valve de VSC (voir 3.4.5, 3.4.6) est composée d'un certain nombre de blocs modules MMC (voir 3.4.9) connectés en série

Note 1 à l'article: L'abréviation "MMC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "modular multi-level converter".

3.4.8

convertisseur à deux niveaux monté en cascade

CTL

convertisseur multiniveaux modulaire dans lequel chaque position de commutateur se compose de plusieurs paires diode-IGBT connectées en série

Note 1 à l'article: L'abréviation "CTL" est dérivée du terme anglais développé correspondant "cascaded two-level converter".

3.4.9

bloc module MMC

source de tension indépendante commandable à deux bornes, associée à un ou plusieurs condensateurs en courant continu et à des auxiliaires immédiats afin de former un MMC

3.4.10

niveau de valve de STATCOM

plus petite unité fonctionnelle indivisible d'une valve

Note 1 à l'article: Pour toute valve dans laquelle les dispositifs commutés sont connectés en série et manœuvrés simultanément, un niveau de valve correspond à un IGBT, y compris ses auxiliaires. Pour un type de convertisseur multiniveaux modulaire (MMC) sans IGBT connectés en série, un niveau de valve correspond à un sous-module (cellule) associé à ses auxiliaires.