



IEC 62501

Edition 1.2 2017-09
CONSOLIDATED VERSION

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.200; 29.240.99

ISBN 978-2-8322-4857-7

**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.**

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE



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

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

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
3.1 Insulation co-ordination terms	8
3.2 Power semiconductor terms	8
3.3 Operating states of converter	9
3.3.1 Operating state of an IGBT-diode pair	9
3.3.2 Operating state of converter	9
3.4 VSC construction terms	9
3.5 Valve structure terms	11
4 General requirements	11
4.1 Guidelines for the performance of type tests.....	11
4.1.1 Evidence in lieu	11
4.1.2 Selection of test object	12
4.1.3 Sequence of test	12
4.1.43 Test procedure	12
4.1.54 Ambient temperature for testing.....	12
4.1.65 Frequency for testing.....	12
4.1.76 Test reports	13
4.1.7 Conditions to be considered in determination of type test parameters.....	13
4.2 Atmospheric correction factor	13
4.3 Treatment of redundancy.....	13
4.3.1 Operational tests	13
4.3.2 Dielectric tests.....	14
4.4 Criteria for successful type testing.....	14
4.4.1 General	14
4.4.2 Criteria applicable to valve levels	14
4.4.3 Criteria applicable to the valve as a whole	15
5 List of type tests	15
6 Operational tests	16
6.1 Purpose of tests	16
6.2 Test object	16
6.3 Test circuit	17
6.4 Maximum continuous operating duty test.....	17
6.5 Maximum temporary over-load operating duty test.....	18
6.6 Minimum d.c. voltage test.....	18
7 Dielectric tests on valve support structure	19
7.1 Purpose of tests	19
7.2 Test object	19
7.3 Test requirements	19
7.3.1 Valve support d.c. voltage test.....	19
7.3.2 Valve support a.c. voltage test.....	20
7.3.3 Valve support switching impulse test	21
7.3.4 Valve support lightning impulse test	21
8 Dielectric tests on multiple valve unit.....	21

8.1	Purpose of tests	22
8.2	Test object	22
8.3	Test requirements	22
8.3.1	MVU d.c. voltage test to earth	22
8.3.2	MVU a.c. voltage test	23
8.3.3	MVU switching impulse test	24
8.3.4	MVU lightning impulse test	25
9	Dielectric tests between valve terminals	25
9.1	Purpose of the test	25
9.2	Test object	26
9.3	Test requirements	26
9.3.1	Valve a.c. – d.c. voltage test	26
9.3.2	Valve impulse tests (general)	28
9.3.3	Valve switching impulse test	28
9.3.4	Valve lightning impulse test	29
9.4	Test methods	30
9.4.1	General	30
9.4.2	Method one	30
9.4.3	Method two	30
10	IGBT overcurrent turn-off test	30
10.1	Purpose of test	30
10.2	Test object	31
10.3	Test requirements	31
11	Short-circuit current test	31
11.1	Purpose of tests	31
11.2	Test object	31
11.3	Test requirements	32
12	Tests for valve insensitivity to electromagnetic disturbance	32
12.1	Purpose of tests	32
12.2	Test object	32
12.3	Test requirements	33
12.3.1	General	33
12.3.2	Approach one	33
12.3.3	Approach two	33
12.3.4	Acceptance criteria	33
13	Production tests	34
13.1	Purpose of tests	34
13.2	Test object	34
13.3	Test requirements	34
13.4	Production test objectives	35
13.4.1	Visual inspection	35
13.4.2	Connection check	35
13.4.3	Voltage-grading circuit check	35
13.4.4	Control, protection and monitoring circuit checks	35
13.4.5	Voltage withstand check	35
13.4.6	Partial discharge tests	35
13.4.7	Turn-on / turn-off check	35
13.4.8	Pressure test	35

14	Presentation of type test results	35
15	Tests for dynamic braking valves	33
Annex A (informative)	Overview of VSC topology converters in HVDC power transmission	37
Annex B (informative)	Valve component fault tolerance capability	50
	Bibliography	51
Figure A.1	– A single VSC phase unit and its idealized output voltage	38
Figure A.2	– Output voltage of a VSC phase unit for a 2-level converter	38
Figure A.3	– Output voltage of a VSC phase unit for a 15-level converter, without PWM	39
Figure A.4	– Basic circuit topology of one phase unit of a 2-level converter	40
Figure A.5	– Basic circuit topology of one phase unit of a 3-level diode-clamped converter	41
Figure A.6	– Basic circuit topology of one phase unit of a 5-level diode-clamped converter	42
Figure A.7	– Basic circuit topology of one phase unit of a 3-level flying capacitor converter	43
Figure A.8	– A single VSC phase unit with controllable voltage source type VSC valves of the “controllable voltage source” type	44
Figure A.9	– One possible implementation of a multi-level “voltage source” VSC valve	45
Figure A.9	– The half-bridge MMC circuit	45
Figure A.10	– The full-bridge MMC circuit	45
Figure A.11	– The half-bridge CTL circuit	47
Figure A.12	– Construction terms in MMC valves	48
Figure A.13	– Construction terms in CTL valves	48
Table 1	– Minimum number of valve levels to be operational type tested as a function of the number of valve levels per valve	12
Table 2	– Valve level faults permitted during type tests	15
Table 3	– List of type tests	16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC 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 amendments has been prepared for user convenience.

IEC 62501 edition 1.2 contains the first edition (2009-06) [documents 22F/185/FDIS and 22F/193/RVD], its amendment 1 (2014-08) [documents 22F/299/CDV and 22F/316A/RVC] and its amendment 2 (2017-09) [documents 22F/438/CDV and 22F/457/RVC].

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendments 1 and 2. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

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

This publication 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 amendments will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

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

1 Scope

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

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

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

2 Normative references

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

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

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

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

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

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

IEC 60700-1:~~1998~~ 2015, *Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 1: Electrical testing*⁴⁾

~~Amendment 1(2003)~~

~~Amendment (2008)~~

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

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

⁴⁾ ~~There exists a consolidated edition 1.2 (2008) that comprises IEC 60700-1, Amendment 1 and Amendment 2.~~

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	55
1 Domaine d'application	57
2 Références normatives	57
3 Termes et définitions	58
3.1 Termes relatifs à la coordination de l'isolement	58
3.2 Termes relatifs au semi-conducteur de puissance	58
3.3 États de fonctionnement du convertisseur	59
3.3.1 État de fonctionnement d'une paire IGBT-diode	59
3.3.2 État de fonctionnement d'un convertisseur	59
3.4 Termes relatifs à la construction du VSC	59
3.5 Termes relatifs à la structure de la valve	61
4 Exigences générales	62
4.1 Lignes directrices pour l'exécution des essais de type	62
4.1.1 Autres éléments pouvant faire office de preuve	62
4.1.2 Choix de l'objet d'essai	62
4.1.3 Séquence d'essai	63
4.1.43 Procédure d'essai	63
4.1.54 Température ambiante pour les essais	63
4.1.65 Fréquence des essais	63
4.1.76 Rapports d'essai	63
4.1.7 Conditions à prendre en considération pour la détermination des paramètres des essais de type	63
4.2 Facteur de correction atmosphérique	63
4.3 Traitement de la redondance	64
4.3.1 Essais de fonctionnement	64
4.3.2 Essais diélectriques	64
4.4 Critères pour des essais de type réussis	65
4.4.1 Généralités	65
4.4.2 Critères applicables aux niveaux de valve	65
4.4.3 Critères applicables à l'ensemble de la valve	66
5 Liste des essais de type	66
6 Essais de fonctionnement	67
6.1 Objectif des essais	67
6.2 Objet d'essai	67
6.3 Circuit d'essai	68
6.4 Essai de contrainte en fonctionnement continu maximal	68
6.5 Essai de contrainte en fonctionnement en surcharge temporaire maximale	69
6.6 Essai de tension c.c. minimale	69
7 Essais diélectriques sur la structure de support de valve	70
7.1 Objectif des essais	70
7.2 Objet d'essai	70
7.3 Exigences relatives aux essais	70
7.3.1 Essai de tension c.c. du support de valve	70
7.3.2 Essai de tension c.a. du support de valve	71
7.3.3 Essai d'impulsion de commutation de support de valve	72
7.3.4 Essai d'impulsion de foudre du support de valve	73

8	Essais diélectriques sur une unité de valves multiples.....	73
8.1	Objectif des essais.....	73
8.2	Objet d'essai.....	73
8.3	Exigences relatives aux essais.....	73
8.3.1	Essai de tension c.c. de la MVU à la terre.....	73
8.3.2	Essai de tension c.a. de la MVU.....	75
8.3.3	Essai d'impulsion de commutation de la MVU.....	76
8.3.4	Essai d'impulsion de foudre de la MVU.....	76
9	Essais diélectriques entre les bornes de la valve.....	77
9.1	Objectif de l'essai.....	77
9.2	Objet d'essai.....	78
9.3	Exigences relatives aux essais.....	78
9.3.1	Essai de tension c.a. – c.c. de la valve.....	78
9.3.2	Essais d'impulsion de la valve (généralités).....	80
9.3.3	Essai d'impulsion de commutation de la valve.....	80
9.3.4	Essai d'impulsion de foudre de la valve.....	81
9.4	Méthodes d'essai.....	82
9.4.1	Généralités.....	82
9.4.2	Méthode une.....	82
9.4.3	Méthode deux.....	82
10	Essai de mise hors tension de l'IGBT en cas de surintensité.....	83
10.1	Objectif de l'essai.....	83
10.2	Objet d'essai.....	83
10.3	Exigences relatives à l'essai.....	83
11	Essai de courant de court-circuit.....	84
11.1	Objectif des essais.....	84
11.2	Objet d'essai.....	84
11.3	Exigences relatives aux essais.....	84
12	Essai d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques.....	84
12.1	Objectif des essais.....	84
12.2	Objet d'essai.....	85
12.3	Exigences relatives aux essais.....	85
12.3.1	Généralités.....	85
12.3.2	Première approche.....	85
12.3.3	Deuxième approche.....	86
12.3.4	Critères d'acceptation.....	86
13	Essais de production.....	87
13.1	Objectif des essais.....	87
13.2	Objet d'essai.....	87
13.3	Exigences relatives aux essais.....	87
13.4	Objectifs des essais de production.....	87
13.4.1	Examen visuel.....	87
13.4.2	Vérification de la connexion.....	87
13.4.3	Vérification du circuit d'évaluation de la tension.....	88
13.4.4	Vérification des circuits de commande, de protection et de surveillance.....	88
13.4.5	Vérification de la tenue en tension.....	88
13.4.6	Essais de décharge partielle.....	88

13.4.7	Vérification de la mise sous / hors tension	88
13.4.8	Essais de pression	88
14	Présentation des résultats d'essais de type	88
15	Essais pour les valves à freinage dynamique.....	86
Annexe A (informative)	Vue d'ensemble de la topologie des convertisseurs VSC dans le cadre du transport d'énergie CCHT	89
Annexe B (informative)	Capacité de Tolérance aux pannes des composants de valves.....	102
	Bibliographie.....	103
Figure A.1	– Une unité de phase VSC unique et sa tension de sortie idéale.....	90
Figure A.2	– Tension de sortie d'une unité de phase VSC pour un convertisseur à 2 niveaux.....	90
Figure A.3	– Tension de sortie d'une unité de phase VSC pour un convertisseur à 15 niveaux, sans MLI.....	91
Figure A.4	– Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur à 2 niveaux	92
Figure A.5	– Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur lié à une diode à 3 niveaux	93
Figure A.6	– Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur lié à une diode à 5 niveaux	94
Figure A.7	– Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur à condensateur volant à 3 niveaux.....	95
Figure A.8	– Une unité de phase VSC unique avec des valves à VSC du type « source de tension commandable »	96
Figure A.9	– Une mise en œuvre possible d'une valve à VSC « à source de tension » multi-niveaux	96
Figure A.9	– Circuit MMC en demi-pont	97
Figure A.10	– Circuit MMC en pont intégral.....	98
Figure A.11	– Circuit CTL en demi-pont	99
Figure A.12	– Termes relatifs à la construction des valves du type MMC	100
Figure A.13	– Termes relatifs à la construction des valves du type CTL.....	100
Tableau 1	– Nombre minimal de niveaux de valve à essayer soumettre à l'essai de type fonctionnel en fonction du nombre de niveaux de valve par valve.....	62
Tableau 2	– Pannes de niveau de valve autorisées au cours des essais de type	66
Tableau 3	– Liste des essais de type	67

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (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 ses amendements a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

L'IEC 62501 édition 1.2 contient la première édition (2009-06) [documents 22F/185/FDIS et 22F/193/RVD], son amendement 1 (2014-08) [documents 22F/299/CDV et 22F/316A/RVC] et son amendement 2 (2017-09) [documents 22F/438/CDV et 22F/457/RVC].

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par les amendements 1 et 2. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

L'IEC 62501 a été établie par le sous-comité 22F: Electronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution, du comité d'études 22 de 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 ses amendements ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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

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

1 Domaine d'application

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

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

Les essais spécifiés dans la présente norme sont établis à partir de valves dans l'air. Pour les autres types de valves, il ~~faud~~ **convient** que les exigences relatives aux essais et les critères d'acceptation fassent l'objet d'un accord **entre le client et le fournisseur**.

2 Références normatives

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

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

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

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

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

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

IEC 60700-1:~~1998~~ 2015, *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 1: Essais électriques*⁴⁾

~~Amendement 1 (2003)~~

~~Amendement (2008)~~

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

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

⁴⁾ ~~Il existe une édition consolidée 1.2 (2008) comprenant l'IEC 60700-1, l'Amendement 1 et l'Amendement 2.~~

FINAL VERSION

VERSION FINALE



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

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

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 VSC construction terms.....	9
3.5 Valve structure terms	10
4 General requirements.....	10
4.1 Guidelines for the performance of type tests.....	10
4.1.1 Evidence in lieu	10
4.1.2 Selection of test object	11
4.1.3 Test procedure	11
4.1.4 Ambient temperature for testing.....	11
4.1.5 Frequency for testing.....	11
4.1.6 Test reports.....	11
4.1.7 Conditions to be considered in determination of type test parameters.....	12
4.2 Atmospheric correction factor	12
4.3 Treatment of redundancy.....	12
4.3.1 Operational tests	12
4.3.2 Dielectric tests.....	12
4.4 Criteria for successful type testing.....	13
4.4.1 General	13
4.4.2 Criteria applicable to valve levels	13
4.4.3 Criteria applicable to the valve as a whole	14
5 List of type tests	14
6 Operational tests	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 over-load operating duty test.....	17
6.6 Minimum d.c. voltage test.....	17
7 Dielectric tests on valve support structure	17
7.1 Purpose of tests	17
7.2 Test object	18
7.3 Test requirements	18
7.3.1 Valve support d.c. voltage test.....	18
7.3.2 Valve support a.c. voltage test.....	19
7.3.3 Valve support switching impulse test	20
7.3.4 Valve support lightning impulse test	20
8 Dielectric tests on multiple valve unit.....	20
8.1 Purpose of tests	20
8.2 Test object	20

8.3	Test requirements	21
8.3.1	MVU d.c. voltage test to earth	21
8.3.2	MVU a.c. voltage test	21
8.3.3	MVU switching impulse test	22
8.3.4	MVU lightning impulse test	23
9	Dielectric tests between valve terminals	24
9.1	Purpose of the test	24
9.2	Test object	24
9.3	Test requirements	24
9.3.1	Valve a.c. – d.c. voltage test	24
9.3.2	Valve impulse tests (general)	26
9.3.3	Valve switching impulse test	26
9.3.4	Valve lightning impulse test	27
9.4	Test methods	28
9.4.1	General	28
9.4.2	Method one	28
9.4.3	Method two	28
10	IGBT overcurrent turn-off test	28
10.1	Purpose of test	28
10.2	Test object	29
10.3	Test requirements	29
11	Short-circuit current test	29
11.1	Purpose of tests	29
11.2	Test object	29
11.3	Test requirements	29
12	Tests for valve insensitivity to electromagnetic disturbance	30
12.1	Purpose of tests	30
12.2	Test object	30
12.3	Test requirements	30
12.3.1	General	30
12.3.2	Approach one	31
12.3.3	Approach two	31
12.3.4	Acceptance criteria	31
13	Production tests	32
13.1	Purpose of tests	32
13.2	Test object	32
13.3	Test requirements	32
13.4	Production test objectives	32
13.4.1	Visual inspection	32
13.4.2	Connection check	32
13.4.3	Voltage-grading circuit check	33
13.4.4	Control, protection and monitoring circuit checks	33
13.4.5	Voltage withstand check	33
13.4.6	Partial discharge tests	33
13.4.7	Turn-on / turn-off check	33
13.4.8	Pressure test	33
14	Presentation of type test results	33
15	Tests for dynamic braking valves	31

Annex A (informative) Overview of VSC converters in HVDC power transmission	34
Annex B (informative) Valve component fault tolerance	46
Bibliography.....	47
Figure A.1 – A single VSC phase unit and its idealized output voltage	35
Figure A.2 – Output voltage of a VSC phase unit for a 2-level converter	35
Figure A.3 – Output voltage of a VSC phase unit for a 15-level converter, without PWM	36
Figure A.4 – Basic circuit topology of one phase unit of a 2-level converter	37
Figure A.5 – Basic circuit topology of one phase unit of a 3-level diode-clamped converter	38
Figure A.6 – Basic circuit topology of one phase unit of a 5-level diode-clamped converter	38
Figure A.7 – Basic circuit topology of one phase unit of a 3-level flying capacitor converter	39
Figure A.8 – A single VSC phase unit with controllable voltage source type VSC valve.....	40
Figure A.9 – The half-bridge MMC circuit.....	41
Figure A.10 – The full-bridge MMC circuit	41
Figure A.11 – The half-bridge CTL circuit.....	43
Figure A.12 – Construction terms in MMC valves	44
Figure A.13 – Construction terms in CTL valves.....	44
Table 1 – Minimum number of valve levels to be operational type tested as a function of the number of valve levels per valve	11
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 HIGH-VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) POWER TRANSMISSION – ELECTRICAL TESTING

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC 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 amendments has been prepared for user convenience.

IEC 62501 edition 1.2 contains the first edition (2009-06) [documents 22F/185/FDIS and 22F/193/RVD], its amendment 1 (2014-08) [documents 22F/299/CDV and 22F/316A/RVC] and its amendment 2 (2017-09) [documents 22F/438/CDV and 22F/457/RVC].

This Final version does not show where the technical content is modified by amendments 1 and 2. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

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

This publication 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 amendments will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

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

1 Scope

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

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

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

2 Normative references

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

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

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

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

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

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

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	51
1 Domaine d'application	53
2 Références normatives	53
3 Termes et définitions	54
3.1 Termes relatifs à la coordination de l'isolement	54
3.2 Termes relatifs au semi-conducteur de puissance	54
3.3 États de fonctionnement du convertisseur	55
3.4 Termes relatifs à la construction du VSC	55
3.5 Termes relatifs à la structure de la valve	56
4 Exigences générales	57
4.1 Lignes directrices pour l'exécution des essais de type	57
4.1.1 Autres éléments pouvant faire office de preuve	57
4.1.2 Choix de l'objet d'essai	57
4.1.3 Procédure d'essai	58
4.1.4 Température ambiante pour les essais	58
4.1.5 Fréquence des essais	58
4.1.6 Rapports d'essai	58
4.1.7 Conditions à prendre en considération pour la détermination des paramètres des essais de type	58
4.2 Facteur de correction atmosphérique	58
4.3 Traitement de la redondance	59
4.3.1 Essais de fonctionnement	59
4.3.2 Essais diélectriques	59
4.4 Critères pour des essais de type réussis	59
4.4.1 Généralités	59
4.4.2 Critères applicables aux niveaux de valve	60
4.4.3 Critères applicables à l'ensemble de la valve	61
5 Liste des essais de type	61
6 Essais de fonctionnement	62
6.1 Objectif des essais	62
6.2 Objet d'essai	62
6.3 Circuit d'essai	63
6.4 Essai de contrainte en fonctionnement continu maximal	63
6.5 Essai de contrainte en fonctionnement en surcharge temporaire maximale	64
6.6 Essai de tension c.c. minimale	64
7 Essais diélectriques sur la structure de support de valve	65
7.1 Objectif des essais	65
7.2 Objet d'essai	65
7.3 Exigences relatives aux essais	65
7.3.1 Essai de tension c.c. du support de valve	65
7.3.2 Essai de tension c.a. du support de valve	66
7.3.3 Essai d'impulsion de commutation de support de valve	67
7.3.4 Essai d'impulsion de foudre du support de valve	67
8 Essais diélectriques sur une unité de valves multiples	67
8.1 Objectif des essais	67
8.2 Objet d'essai	67

8.3	Exigences relatives aux essais.....	68
8.3.1	Essai de tension c.c. de la MVU à la terre	68
8.3.2	Essai de tension c.a. de la MVU	69
8.3.3	Essai d'impulsion de commutation de la MVU.....	70
8.3.4	Essai d'impulsion de foudre de la MVU.....	70
9	Essais diélectriques entre les bornes de la valve.....	71
9.1	Objectif de l'essai.....	71
9.2	Objet d'essai	71
9.3	Exigences relatives aux essais.....	72
9.3.1	Essai de tension c.a. – c.c. de la valve	72
9.3.2	Essais d'impulsion de la valve (généralités).....	73
9.3.3	Essai d'impulsion de commutation de la valve	74
9.3.4	Essai d'impulsion de foudre de la valve	74
9.4	Méthodes d'essai	75
9.4.1	Généralités.....	75
9.4.2	Méthode une	75
9.4.3	Méthode deux.....	76
10	Essai de mise hors tension de l'IGBT en cas de surintensité	76
10.1	Objectif de l'essai.....	76
10.2	Objet d'essai	76
10.3	Exigences relatives à l'essai.....	76
11	Essai de courant de court-circuit	77
11.1	Objectif des essais	77
11.2	Objet d'essai	77
11.3	Exigences relatives aux essais.....	77
12	Essai d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques	78
12.1	Objectif des essais	78
12.2	Objet d'essai	78
12.3	Exigences relatives aux essais.....	78
12.3.1	Généralités.....	78
12.3.2	Première approche	79
12.3.3	Deuxième approche.....	79
12.3.4	Critères d'acceptation.....	79
13	Essais de production	80
13.1	Objectif des essais	80
13.2	Objet d'essai	80
13.3	Exigences relatives aux essais.....	80
13.4	Objectifs des essais de production	81
13.4.1	Examen visuel	81
13.4.2	Vérification de la connexion.....	81
13.4.3	Vérification du circuit d'évaluation de la tension	81
13.4.4	Vérification des circuits de commande, de protection et de surveillance	81
13.4.5	Vérification de la tenue en tension.....	81
13.4.6	Essais de décharge partielle.....	81
13.4.7	Vérification de la mise sous / hors tension	81
13.4.8	Essais de pression	81
14	Présentation des résultats d'essais de type	81

15 Essais pour les valves à freinage dynamique.....	79
Annexe A (informative) Vue d'ensemble des convertisseurs VSC dans le cadre du transport d'énergie CCHT	83
Annexe B (informative) Tolérance aux pannes des composants de valves	95
Bibliographie.....	96
Figure A.1 – Une unité de phase VSC unique et sa tension de sortie idéale.....	84
Figure A.2 – Tension de sortie d'une unité de phase VSC pour un convertisseur à 2 niveaux.....	84
Figure A.3 – Tension de sortie d'une unité de phase VSC pour un convertisseur à 15 niveaux, sans MLI.....	85
Figure A.4 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur à 2 niveaux.....	86
Figure A.5 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur lié à une diode à 3 niveaux.....	87
Figure A.6 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur lié à une diode à 5 niveaux.....	87
Figure A.7 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur à condensateur volant à 3 niveaux.....	88
Figure A.8 – Une unité de phase VSC unique avec des valves à VSC du type source de tension commandable	89
Figure A.9 – Circuit MMC en demi-pont	90
Figure A.10 – Circuit MMC en pont intégral.....	90
Figure A.11 – Circuit CTL en demi-pont	92
Figure A.12 – Termes relatifs à la construction des valves du type MMC	93
Figure A.13 – Termes relatifs à la construction des valves du type CTL.....	93
Tableau 1 – Nombre minimal de niveaux de valve à soumettre à l'essai de type fonctionnel en fonction du nombre de niveaux de valve par valve	57
Tableau 2 – Pannes de niveau de valve autorisées au cours des essais de type	61
Tableau 3 – Liste des essais de type	62

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (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 ses amendements a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

L'IEC 62501 édition 1.2 contient la première édition (2009-06) [documents 22F/185/FDIS et 22F/193/RVD], son amendement 1 (2014-08) [documents 22F/299/CDV et 22F/316A/RVC] et son amendement 2 (2017-09) [documents 22F/438/CDV et 22F/457/RVC].

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par les amendements 1 et 2. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

L'IEC 62501 a été établie par le sous-comité 22F: Electronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution, du comité d'études 22 de 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 ses amendements ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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

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

1 Domaine d'application

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

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

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

2 Références normatives

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

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

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

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

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

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

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