

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



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

ISBN 978-2-8322-1816-7

**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	7
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 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	12
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	13
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	16
6.4 Maximum continuous operating duty test.....	17
6.5 Maximum temporary over-load operating duty test.....	17
6.6 Minimum d.c. voltage test	18
7 Dielectric tests on valve support structure	18
7.1 Purpose of tests	18
7.2 Test object	18
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	20
7.3.4 Valve support lightning impulse test	21
8 Dielectric tests on multiple valve unit	21

8.1	Purpose of tests	21
8.2	Test object	21
8.3	Test requirements.....	21
8.3.1	MVU d.c. voltage test to earth	21
8.3.2	MVU a.c. voltage test	22
8.3.3	MVU switching impulse test.....	23
8.3.4	MVU lightning impulse test.....	24
9	Dielectric tests between valve terminals	24
9.1	Purpose of the test	24
9.2	Test object	25
9.3	Test requirements.....	25
9.3.1	Valve a.c. – d.c. voltage test	25
9.3.2	Valve impulse tests (general)	27
9.3.3	Valve switching impulse test.....	27
9.3.4	Valve lightning impulse test.....	28
10	IGBT overcurrent turn-off test	29
10.1	Purpose of test	29
10.2	Test object	29
10.3	Test requirements.....	29
11	Short-circuit current test	30
11.1	Purpose of tests	30
11.2	Test object	30
11.3	Test requirements.....	30
12	Tests for valve insensitivity to electromagnetic disturbance	30
12.1	Purpose of tests	30
12.2	Test object	31
12.3	Test requirements.....	31
12.3.1	General	31
12.3.2	Approach one	31
12.3.3	Approach two.....	31
12.3.4	Acceptance criteria	32
13	Production tests	32
13.1	Purpose of tests	32
13.2	Test object	33
13.3	Test requirements.....	33
13.4	Production test objectives	33
13.4.1	Visual inspection.....	33
13.4.2	Connection check	33
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.....	34
13.4.7	Turn-on / turn-off check.....	34
13.4.8	Pressure test	34
14	Presentation of type test results.....	34
15	Tests for dynamic braking valves	32
Annex A (informative)	Overview of VSC topology converters in HVDC power transmission	35

Annex B (informative) Valve component fault tolerance capability	48
Bibliography	49
Figure A.1 – A single VSC phase unit and its idealized output voltage.....	36
Figure A.2 – Output voltage of a VSC phase unit for a 2-level converter.....	36
Figure A.3 – Output voltage of a VSC phase unit for a 15-level converter, without PWM	37
Figure A.4 – Basic circuit topology of one phase unit of a 2-level converter	38
Figure A.5 – Basic circuit topology of one phase unit of a 3-level diode-clamped converter	39
Figure A.6 – Basic circuit topology of one phase unit of a 5-level diode-clamped converter	40
Figure A.7 – Basic circuit topology of one phase unit of a 3-level flying capacitor converter	41
Figure A.8 – A single VSC phase unit with valves of the “controllable voltage source” type.....	42
Figure A.9 – One possible implementation of a multi-level “voltage source” VSC valve The half-bridge MMC circuit	43
Figure A.10 – The full-bridge MMC circuit	43
Figure A.11 – The half-bridge CTL circuit	45
Figure A.12 – Construction terms in MMC valves	46
Figure A.13 – Construction terms in CTL valves	46
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.....	15
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 IEC 62501 bears the edition number 1.1. It consists of the first edition (2009-06) [documents 22F/185/FDIS and 22F/193/RVD] and its amendment 1 (2014-08) [documents 22F/299/CDV and 22F/316A/RVC]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

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

This publication has been prepared for user convenience.

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 amendment 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.

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

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

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

Amendment 1(2003)
Amendment (2008)

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

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	53
1 Domaine d'application	55
2 Références normatives	55
3 Termes et définitions	56
3.1 Termes relatifs à la coordination de l'isolement	56
3.2 Termes relatifs au semi-conducteur de puissance	56
3.3 États de fonctionnement du convertisseur	57
3.3.1 État de fonctionnement d'une paire IGBT-diode	57
3.3.2 État de fonctionnement d'un convertisseur	57
3.4 Termes relatifs à la construction du VSC	57
3.5 Termes relatifs à la structure de la valve	59
4 Exigences générales	60
4.1 Lignes directrices pour l'exécution des essais de type	60
4.1.1 Autres éléments pouvant faire office de preuve	60
4.1.2 Objet d'essai	60
4.1.3 Séquence d'essai	60
4.1.43 Procédure d'essai	61
4.1.54 Température ambiante pour les essais	61
4.1.65 Fréquence des essais	61
4.1.76 Rapports d'essai	61
4.1.7 Conditions à prendre en considération pour la détermination des paramètres des essais de type	61
4.2 Facteur de correction atmosphérique	61
4.3 Traitement de la redondance	62
4.3.1 Essais de fonctionnement	62
4.3.2 Essais diélectriques	62
4.4 Critères pour des essais de type réussis	62
4.4.1 Généralités	62
4.4.2 Critères applicables aux niveaux de valve	63
4.4.3 Critères applicables à l'ensemble de la valve	64
5 Liste des essais de type	64
6 Essais de fonctionnement	65
6.1 Objectif des essais	65
6.2 Objet d'essai	65
6.3 Circuit d'essai	66
6.4 Essai de contrainte en fonctionnement continu maximal	66
6.5 Essai de contrainte en fonctionnement en surcharge temporaire maximale	67
6.6 Essai de tension c.c. minimale	67
7 Essais diélectriques sur la structure de support de valve	68
7.1 Objectif des essais	68
7.2 Objet d'essai	68
7.3 Exigences relatives aux essais	68
7.3.1 Essai de tension c.c. du support de valve	68
7.3.2 Essai de tension c.a. du support de valve	69
7.3.3 Essai d'impulsion de commutation de support de valve	70
7.3.4 Essai d'impulsion de foudre du support de valve	70

8	Essais diélectriques sur une unité de valves multiples	70
8.1	Objectif des essais	70
8.2	Objet d'essai	71
8.3	Exigences relatives aux essais	71
8.3.1	Essai de tension c.c. de la MVU à la terre	71
8.3.2	Essai de tension c.a. de la MVU	72
8.3.3	Essai d'impulsion de commutation de la MVU	73
8.3.4	Essai d'impulsion de foudre de la MVU	74
9	Essais diélectriques entre les bornes de la valve	74
9.1	Objectif de l'essai	74
9.2	Objet d'essai	75
9.3	Exigences relatives aux essais	75
9.3.1	Essai de tension c.a. – c.c. de la valve	75
9.3.2	Essais d'impulsion de la valve (généralités)	77
9.3.3	Essai d'impulsion de commutation de la valve	78
9.3.4	Essai d'impulsion de foudre de la valve	78
10	Essai de mise hors tension de l'IGBT en cas de surintensité	79
10.1	Objectif de l'essai	79
10.2	Objet d'essai	80
10.3	Exigences relatives à l'essai	80
11	Essai de courant de court-circuit	80
11.1	Objectif des essais	80
11.2	Objet d'essai	80
11.3	Exigences relatives aux essais	81
12	Essai d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques	81
12.1	Objectif des essais	81
12.2	Objet d'essai	81
12.3	Exigences relatives aux essais	82
12.3.1	Généralités	82
12.3.2	Première approche	82
12.3.3	Deuxième approche	82
12.3.4	Critères d'acceptation	82
13	Essais de production	83
13.1	Objectif des essais	83
13.2	Objet d'essai	83
13.3	Exigences relatives aux essais	83
13.4	Objectifs des essais de production	84
13.4.1	Examen visuel	84
13.4.2	Vérification de la connexion	84
13.4.3	Vérification du circuit d'évaluation de la tension	84
13.4.4	Vérification des circuits de commande, de protection et de surveillance	84
13.4.5	Vérification de la tenue en tension	84
13.4.6	Essais de décharge partielle	84
13.4.7	Vérification de la mise sous / hors tension	84
13.4.8	Essais de pression	85
14	Présentation des résultats d'essais de type	85
15	Essais pour les valves à freinage dynamique	83

Annexe A (informative) Vue d'ensemble de la topologie des VSC des convertisseurs VSC dans le cadre du transport d'énergie CCHT	86
Annexe B (informative) Capacité de Tolérance aux pannes des composants de valves	99
Bibliographie.....	100
Figure A.1 – Une unité de phase VSC unique et sa tension de sortie idéale.....	87
Figure A.2 – Tension de sortie d'une unité de phase VSC pour un convertisseur à 2 niveaux.....	87
Figure A.3 – Tension de sortie d'une unité de phase VSC pour un convertisseur à 15 niveaux, sans MLI.....	88
Figure A.4 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur à 2 niveaux.....	89
Figure A.5 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur lié à une diode à 3 niveaux.....	90
Figure A.6 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur lié à une diode à 5 niveaux.....	91
Figure A.7 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur à condensateur volant à 3 niveaux.....	92
Figure A.8 – Une unité de phase VSC unique avec des valves du type «source de tension commandable».....	93
Figure A.9 – Une mise en œuvre possible d'une valve à VSC «à source de tension» multi-niveaux Circuit MMC en demi-pont.....	94
Figure A.10 – Circuit MMC en pont intégral.....	95
Figure A.11 – Circuit CTL en demi-pont.....	96
Figure A.12 – Termes relatifs à la construction des valves du type MMC.....	97
Figure A.13 – Termes relatifs à la construction des valves du type CTL.....	97
Tableau 1 – Nombre minimal de niveaux de valve à essayer en fonction du nombre de niveaux de valve par valve.....	60
Tableau 2 – Pannes de niveau de valve autorisées au cours des essais de type.....	64
Tableau 3 – Liste des essais de type.....	65

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 l'IEC 62501 porte le numéro d'édition 1.1. Elle comprend la première édition (2009-06) [documents 22F/185/FDIS et 22F/193/RVD] et son amendement 1 (2014-08) [documents 22F/299/CDV et 22F/316A/RVC]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

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

Cette publication a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

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 son amendement 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.

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

Les essais spécifiés dans la présente norme sont établis à partir de valves dans l'air. Pour les autres types de valves, il ~~faux~~ 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 60270:2000, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

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

Amendement 1(2003)
Amendement (2008)

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

¹⁾ 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	8
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	11
4.1 Guidelines for the performance of type tests.....	11
4.1.1 Evidence in lieu	11
4.1.2 Test object.....	11
4.1.3 Test procedure.....	11
4.1.4 Ambient temperature for testing.....	11
4.1.5 Frequency for testing	12
4.1.6 Test reports	12
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	13
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	19
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.....	20
8.3.1	MVU d.c. voltage test to earth	20
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	23
9.1	Purpose of the test	23
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
10	IGBT overcurrent turn-off test	27
10.1	Purpose of test	27
10.2	Test object	28
10.3	Test requirements.....	28
11	Short-circuit current test	28
11.1	Purpose of tests	28
11.2	Test object	28
11.3	Test requirements.....	29
12	Tests for valve insensitivity to electromagnetic disturbance	29
12.1	Purpose of tests	29
12.2	Test object	29
12.3	Test requirements.....	30
12.3.1	General	30
12.3.2	Approach one	30
12.3.3	Approach two.....	30
12.3.4	Acceptance criteria	30
13	Production tests	31
13.1	Purpose of tests	31
13.2	Test object	31
13.3	Test requirements.....	31
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	32
13.4.4	Control, protection and monitoring circuit checks	32
13.4.5	Voltage withstand check.....	32
13.4.6	Partial discharge tests.....	32
13.4.7	Turn-on / turn-off check.....	32
13.4.8	Pressure test	32
14	Presentation of type test results.....	32
15	Tests for dynamic braking valves	30
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 valves of the “controllable voltage source” type.....	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 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 IEC 62501 bears the edition number 1.1. It consists of the first edition (2009-06) [documents 22F/185/FDIS and 22F/193/RVD] and its amendment 1 (2014-08) [documents 22F/299/CDV and 22F/316A/RVC]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

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.

This publication has been prepared for user convenience.

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 amendment 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.

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

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

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

Amendment 1(2003)

Amendment (2008)

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

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	51
1 Domaine d'application	53
2 Références normatives	53
3 Termes et définitions	53
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	54
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 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).....	74
9.3.3	Essai d'impulsion de commutation de la valve	74
9.3.4	Essai d'impulsion de foudre de la valve	75
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	76
11.1	Objectif des essais	76
11.2	Objet d'essai	77
11.3	Exigences relatives aux essais.....	77
12	Essai d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques	77
12.1	Objectif des essais	77
12.2	Objet d'essai	78
12.3	Exigences relatives aux essais.....	78
12.3.1	Généralités.....	78
12.3.2	Première approche	78
12.3.3	Deuxième approche.....	78
12.3.4	Critères d'acceptation.....	79
13	Essais de production	79
13.1	Objectif des essais	79
13.2	Objet d'essai	80
13.3	Exigences relatives aux essais.....	80
13.4	Objectifs des essais de production	80
13.4.1	Examen visuel	80
13.4.2	Vérification de la connexion.....	80
13.4.3	Vérification du circuit d'évaluation de la tension	80
13.4.4	Vérification des circuits de commande, de protection et de surveillance	80
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		82
Annexe B (informative) Tolérance aux pannes des composants de valves		94

Bibliographie..... 95

Figure A.1 – Une unité de phase VSC unique et sa tension de sortie idéale..... 83

Figure A.2 – Tension de sortie d'une unité de phase VSC pour un convertisseur à 2 niveaux..... 83

Figure A.3 – Tension de sortie d'une unité de phase VSC pour un convertisseur à 15 niveaux, sans MLI..... 84

Figure A.4 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur à 2 niveaux..... 85

Figure A.5 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur lié à une diode à 3 niveaux..... 86

Figure A.6 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur lié à une diode à 5 niveaux..... 86

Figure A.7 – Topologie de circuit élémentaire d'une unité de phase d'un convertisseur à condensateur volant à 3 niveaux..... 87

Figure A.8 – Une unité de phase VSC unique avec des valves du type «source de tension commandable»..... 88

Figure A.9 – Circuit MMC en demi-pont..... 89

Figure A.10 – Circuit MMC en pont intégral..... 89

Figure A.11 – Circuit CTL en demi-pont..... 91

Figure A.12 – Termes relatifs à la construction des valves du type MMC..... 92

Figure A.13 – Termes relatifs à la construction des valves du type CTL..... 92

Tableau 1 – Nombre minimal de niveaux de valve à essayer 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 l'IEC 62501 porte le numéro d'édition 1.1. Elle comprend la première édition (2009-06) [documents 22F/185/FDIS et 22F/193/RVD] et son amendement 1 (2014-08) [documents 22F/299/CDV et 22F/316A/RVC]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

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.

Cette publication a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

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 son amendement 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.

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

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

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

Amendement 1(2003)

Amendement (2008)

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

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