



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 29.200; 29.240

ISBN 978-2-88910-744-5

CONTENTS

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

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

FOREWORD

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

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

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

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

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

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

1 Scope

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

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

2 Normative references

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

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

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

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

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

Amendment 1(2003)

Amendment (2008)

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

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

SOMMAIRE

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

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

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

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

AVANT-PROPOS

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

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

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

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

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

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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

1 Domaine d'application

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

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

2 Références normatives

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

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

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

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

CEI 60700-1:1998, *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 1: Essais électriques¹⁾*

Amendement 1(2003)

Amendement (2008)

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

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