

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission –
Part 1: Electrical testing**

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



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2015 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 60 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 60700-1

Edition 2.0 2015-07

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission –
Part 1: Electrical testing**

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.200

ISBN 978-2-8322--2805-0

**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.**

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions.....	7
3.1 Insulation co-ordination terms.....	8
3.2 Valve construction terms.....	9
3.3 Terms related to type tests.....	10
3.4 Terms related to production tests.....	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 tests.....	10
4.1.4 Test procedures.....	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.....	11
4.3 Treatment of redundancy.....	11
4.3.1 Dielectric tests.....	11
4.3.2 Operational tests.....	11
4.4 Criteria for successful type testing.....	12
4.4.1 General.....	12
4.4.2 Criteria applicable to thyristor levels.....	12
4.4.3 Criteria applicable to the valve as a whole.....	13
5 List of type tests.....	13
6 Dielectric tests on valve support.....	14
6.1 Purpose of tests.....	14
6.2 Test object.....	14
6.3 Test requirements.....	15
6.3.1 General.....	15
6.3.2 Valve support d.c. voltage test.....	15
6.3.3 Valve support a.c. voltage test.....	15
6.3.4 Valve support switching impulse test.....	16
6.3.5 Valve support lightning impulse test.....	16
7 Dielectric tests for multiple valve units (MVU).....	16
7.1 Purpose of tests.....	16
7.2 Test object.....	16
7.3 Test requirements.....	17
7.3.1 MVU d.c. voltage test to earth.....	17
7.3.2 MVU a.c. voltage test.....	18
7.3.3 MVU switching impulse test.....	18
7.3.4 MVU lightning impulse test.....	19
8 Dielectric tests between valve terminals.....	20
8.1 Purpose of tests.....	20
8.2 Test object.....	20

8.3	Test requirements	20
8.3.1	Valve d.c. voltage test	20
8.3.2	Valve a.c. voltage test	21
8.3.3	Valve impulse tests (general)	22
8.3.4	Valve switching impulse test.....	23
8.3.5	Valve lightning impulse test.....	23
8.3.6	Valve steep front impulse test	23
8.4	Valve non-periodic firing test	24
8.4.1	Purpose of test	24
8.4.2	Test object.....	24
8.4.3	Test requirements	24
9	Periodic firing and extinction tests	25
9.1	Purpose of tests	25
9.2	Test object	26
9.3	Test requirements	26
9.3.1	General	26
9.3.2	Maximum continuous operating duty tests	27
9.3.3	Maximum temporary operating duty test ($\alpha = 90^\circ$).....	28
9.3.4	Minimum a.c. voltage tests.....	29
9.3.5	Temporary undervoltage test.....	30
9.3.6	Intermittent direct current tests.....	31
10	Tests with transient forward voltage during the recovery period	31
10.1	Purpose of tests	31
10.2	Test object	31
10.3	Test requirements	31
11	Valve fault current tests	33
11.1	Purpose of tests	33
11.2	Test object	33
11.3	Test requirements	33
11.3.1	General	33
11.3.2	One-loop fault current test with re-applied forward voltage.....	34
11.3.3	Multiple-loop fault current test without re-applied forward voltage	35
12	Tests for valve insensitivity to electromagnetic disturbance	35
12.1	Purpose of tests	35
12.2	Test object	36
12.3	Test requirements	36
12.3.1	General	36
12.3.2	Approach one	36
12.3.3	Approach two.....	36
12.3.4	Acceptance criteria	37
13	Testing of special features and fault tolerance.....	37
13.1	Purpose of tests	37
13.1.1	General	37
13.1.2	Circuits to facilitate the proper control, protection and monitoring of the valve.....	37
13.1.3	Features included in the valve to provide fault tolerance	37
13.2	Test object.....	37
13.3	Test requirements	38
14	Production tests	38

14.1	General.....	38
14.2	Purpose of tests	38
14.3	Test object.....	38
14.4	Test requirements	38
14.5	Routine test – minimum requirements.....	38
14.5.1	Visual inspection.....	38
14.5.2	Connection check	39
14.5.3	Voltage-grading circuit check	39
14.5.4	Voltage withstand check.....	39
14.5.5	Partial discharge tests.....	39
14.5.6	Check of auxiliaries.....	39
14.5.7	Firing check	39
14.5.8	Pressure test	39
15	Method for loss determination	39
16	Presentation of type test results	39
Annex A (normative)	Test safety factors	40
A.1	General.....	40
A.2	Test safety factors for dielectric tests	40
A.2.1	Impulse tests	40
A.2.2	AC and d.c. temporary and long-term voltage tests.....	43
A.3	Test safety factors for operational tests	43
Annex B (normative)	Partial discharge measurements	44
B.1	Measurement of partial discharge.....	44
B.2	Partial discharge during a.c. tests.....	44
B.3	Partial discharge during d.c. tests.....	44
B.4	Composite a.c. plus d.c. voltage stress.....	45
Figure 1	– Steep front impulse test voltage	8
Table 1	– Thyristor level faults permitted during type tests	13
Table 2	– List of type tests	14

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**THYRISTOR VALVES FOR HIGH VOLTAGE DIRECT
CURRENT (HVDC) POWER TRANSMISSION –****Part 1: 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.

International Standard IEC 60700-1 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 second edition cancels and replaces the first edition published in 1998, its Amendment 1:2003 and its Amendment 2: 2008. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition.

- a) Definitions of terms "redundant thyristor levels", "thyristor level", "valve section" have been changed for clarification.
- b) The notes were added to test requirements of dielectric d.c. voltage tests for valve support, MVU, valve, specifying that before repeating the test with opposite polarity, the tested

object may be short-circuited and earthed for several hours. The same procedure may be followed at the end of the d.c. voltage test.

- c) Table 1 on thyristor level faults permitted during type tests was supplemented.
- d) The alternative MVU dielectric test method was added.
- e) It was specified that production tests may include routine tests as well as sample tests.
- f) It was added into test requirements for periodic firing and extinction tests that a scaling factor for tests shall be applied when testing with valve sections.

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

CDV	Report on voting
22F/341/CDV	22F/351A/RVC

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.

A list of all parts in the IEC 60700 series, published under the general title *Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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.

THYRISTOR VALVES FOR HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) POWER TRANSMISSION –

Part 1: Electrical testing

1 Scope

This part of IEC 60700 applies to thyristor valves with metal oxide surge arresters directly connected between the valve terminals, for use in a line commutated converter 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 can be agreed.

2 Normative references

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

IEC 60060, *High-voltage test techniques*

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

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

IEC 60099 (all parts), *Surge arresters*

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

IEC 61803:1999, *Determination of power losses in high-voltage direct current (HVDC) converter stations*

IEC 61803:1999/AMD 1:2010¹

ISO/IEC Guide 25, *General requirements for the technical competence of testing laboratories*²

3 Terms and definitions

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

¹ There exists a consolidated edition 1.1 (2011) that comprises IEC 61803:1999 and its Amendment 1:2010.

² Withdrawn.

3.1 Insulation co-ordination terms

3.1.1

test withstand voltage

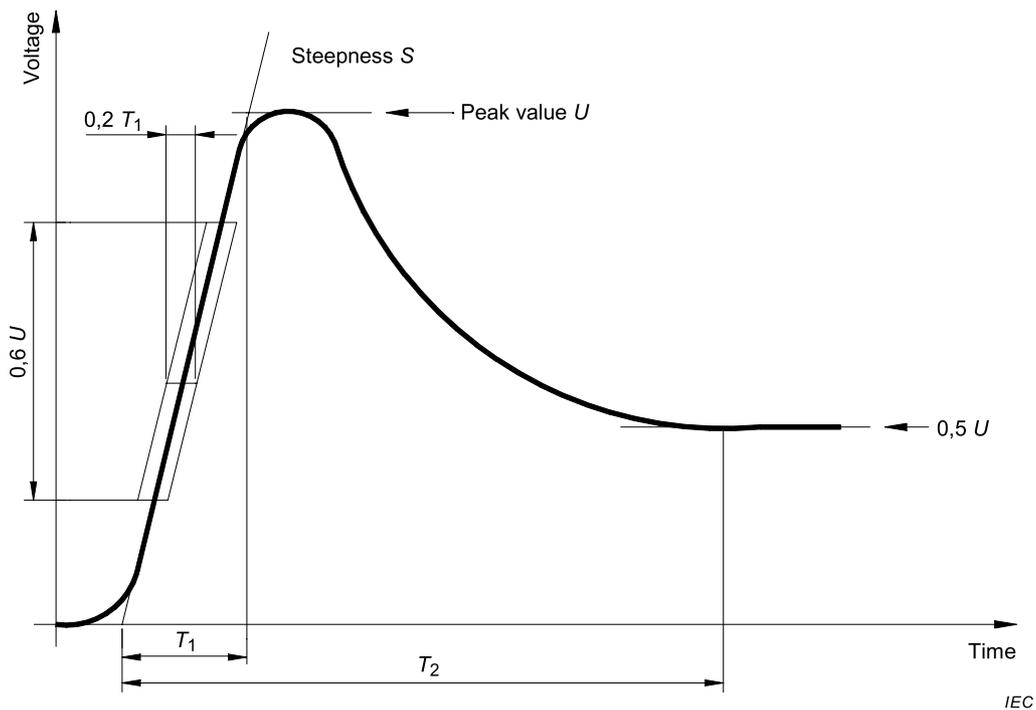
value of a test voltage of standard waveshape at which a new valve, with unimpaired integrity, does not show any disruptive discharge and meets all other acceptance criteria specified for the particular test, when subjected to a specified number of applications or a specified duration of the test voltage,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

3.1.2

steep front impulse

fast-front voltage impulse whose time to peak is less than that of a standard lightning impulse but not less than that of a very-fast-front voltage as defined in IEC 60071-1

Note 1 to entry: For this standard, the steep front impulse voltage for test purposes is as shown in Figure 1.



Key

- U specified peak value of steep front impulse test voltage (kV)
- S specified steepness of steep front impulse test voltage (kV/ μ s)
- T_1 virtual front time = $\frac{U}{S}$ (μ s)

The following conditions shall be satisfied:

- a) The peak value of the recorded test voltage shall be $U \pm 3\%$. This tolerance is the same as that in IEC 60060 for standard lightning impulse.
- b) Over a voltage excursion of not less than $0,6 U$, the rising portion of the recorded test voltage shall be entirely contained between two parallel lines of steepness S and separation $0,2 T_1$.
- c) The value of the test voltage at T_2 shall not be lower than $0,5 U$. T_2 is defined as the time interval between the origin and the instant when the voltage has decreased to half the peak value of the waveform which is obtained from system study. However, it shall be assured that an unintentional du/dt switching of the thyristors can be adequately detected.

Figure 1 – Steep front impulse test voltage

3.1.3

internal and external insulation

air external to the components and insulating materials of the valve, but contained within the profile of the valve or multiple valve unit is considered as part of the internal insulation system of the valve

Note 1 to entry: The external insulation is the air between the external surface of the valve or multiple valve unit and its surroundings.

3.1.4

valve protective firing

means of protecting the thyristors from excessive voltage by firing them at a predetermined voltage

3.2 Valve construction terms

3.2.1

valve support

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

Note 1 to entry: A part of a valve which is clearly identifiable in a discrete form to be a valve support may not exist in all designs of valves.

3.2.2

valve structure

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

3.2.3

redundant thyristor levels

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

3.2.4

valve base electronics

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

3.2.5

thyristor level

part of a thyristor valve comprising a thyristor, or thyristors connected in parallel, together with their immediate auxiliaries, and reactor, if any

3.2.6

valve section

electrical assembly, comprising a number of thyristors and other components, which exhibits pro-rated electrical properties of a complete valve

3.2.7

multiple valve unit

MVU

single physical structure comprising more than one valve with a common mechanical support structure

3.3 Terms related to type tests

NOTE Those tests which are carried out to verify that the valve design will meet the requirements specified. In this standard, type tests are classified under two major categories: dielectric tests and operational tests.

3.3.1

dielectric tests

tests which are carried out to verify the high voltage characteristics of the valve

3.3.2

operational tests

tests which are carried out to verify the turn-on, turn-off and current related characteristics of the valve

3.4 Terms related to production tests

NOTE Those tests which are carried out to verify proper manufacture, so that the properties of a valve correspond to those specified.

3.4.1

routine tests

production tests which are carried out on all valves, valve sections or components

3.4.2

sample tests

production tests which are carried out on a small number of valves, valve sections or components taken at random from a batch

4 General requirements

4.1 Guidelines for the performance of type tests

4.1.1 Evidence in lieu

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

4.1.2 Test object

Test object should meet the following requirements:

- a) Certain type tests may be performed either on a complete valve or on valve sections, as indicated in Table 2. For those type tests on valve sections, the total number of valve sections tested shall be at least as many as the number in a complete valve.
- b) The same valve sections shall be used for all type tests unless otherwise stated.
- c) Prior to commencement of type tests, the valve, valve sections and/or the components of them should be demonstrated to have withstood the production tests to ensure proper manufacture.

4.1.3 Sequence of tests

The type tests specified can be carried out in any order.

NOTE Tests involving partial discharge measurement can provide added confidence if performed at the end of the dielectric type test programme.

4.1.4 Test procedures

The tests shall be performed in accordance with IEC 60060, where applicable. The competence of testing and calibration laboratories should correspond to the ISO/IEC Guide 17025.

4.1.5 Ambient temperature for testing

The tests shall be performed at the prevailing ambient temperature of the test facility, unless otherwise specified.

4.1.6 Frequency for testing

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

4.1.7 Test reports

At the completion of the type tests, the supplier shall provide type test reports in accordance with Clause 16.

4.2 Atmospheric correction

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

– Pressure:

- a) If the insulation coordination of the tested part of the thyristor valve is based on standard rated withstand voltages according to IEC 60071-1, correction factors are only applied for altitudes exceeding 1 000 m. Hence, if the altitude of the site a_s at which the equipment will be installed is $\leq 1\ 000$ m, then the standard atmospheric air pressure ($b_0 = 101,3$ kPa) shall be used with no correction for altitude. If $a_s > 1\ 000$ m, then the standard procedure according to IEC 60060-1 is used except that the reference atmospheric pressure b_0 is replaced by the atmospheric pressure corresponding to an altitude of 1 000 m ($b_{1\ 000\ m}$);
- b) If the insulation coordination of the tested part of the thyristor valve is not based on standard rated withstand voltages according to IEC 60071-1, then the standard procedure according to IEC 60060-1 is used with the reference atmospheric pressure b_0 ($b_0 = 101,3$ kPa);

– Temperature: design maximum valve hall air temperature ($^{\circ}\text{C}$);

– Humidity: design minimum valve hall absolute humidity (g/m^3).

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

4.3 Treatment of redundancy

4.3.1 Dielectric tests

For all dielectric tests between valve terminals, the redundant thyristor levels shall be short circuited, with the possible exception of the valve non-periodic firing test (see 8.4). The location of thyristor levels to be short circuited shall be agreed by the purchaser and supplier.

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

4.3.2 Operational tests

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

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

where

N_{tut} is the number of series thyristor levels in the test object;

N_t is the total number of series thyristor levels in the valve;

N_r is the total number of redundant series thyristor levels in the valve.

4.4 Criteria for successful type testing

4.4.1 General

Experience in industry shows that, even with the most careful design of valves, it is not possible to avoid occasional random failures of thyristor level components during service operation. Even though these failures may be stress-related, they are considered random to the extent that the cause of failure or the relationship between failure rate and stress cannot be predicted or is not amenable to precise quantitative definition. Type tests subject valves or valve sections, within a short time, to multiple stresses that generally correspond to the worst stresses that can be experienced by the equipment not more than a few times during the life of the valve. Considering the above, the criteria for successful type testing set out below therefore permit a small number of thyristor levels to fail during type testing, providing that the failures are rare and do not show any pattern that is indicative of inadequate design.

4.4.2 Criteria applicable to thyristor levels

The following criteria are applicable to thyristor levels:

- a) If, following a type test as listed in Clause 5, more than one thyristor level (alternatively more than 1 % of the series-connected thyristor levels in a complete valve, if greater) has become short circuited, then the valve shall be deemed to have failed the type tests.
- b) If, following a type test, one thyristor level (or more if still within the 1 % limit) has become short circuited, then the failed level(s) shall be restored and this type test repeated.
- c) If the cumulative number of short-circuited thyristor levels during all type tests is more than 3 % of the series-connected thyristor levels in a complete valve, then the valve shall be deemed to have failed the type test programme.
- d) When type tests are performed on valve sections, the criteria for acceptance above also apply since the number of valve sections tested shall be not less than the number of sections in a complete valve (see 4.1.2 a)).
- e) The valve or valve sections shall be checked after each type test to determine whether or not any thyristor levels have become short-circuited. Failed thyristors or auxiliary components found during or at the end of a type test may be replaced before further testing.
- f) At the completion of the test programme, the valve or valve sections shall undergo a series of check tests, which shall include as a minimum:
 - check for voltage withstand of thyristor levels in both forward and reverse direction;
 - check of the gating circuits where applicable;
 - check of the monitoring circuits;
 - check of the thyristor level protection circuits by application of transient voltages above and below the protection setting(s) where applicable;
 - check of the voltage grading circuits.
- g) Thyristor level short circuits occurring during the check tests shall be counted as part of the criteria for acceptance defined above. In addition to short-circuited levels, the total number of thyristor levels exhibiting faults which do not result in thyristor level short circuit, which are discovered during the type test programme and the subsequent check tests, shall not exceed 3 % of the series-connected thyristor levels in a complete valve. If the total number

of such levels exceeds 3 %, then the nature of the faults and their cause shall be reviewed and additional action, if any, agreed between purchaser and supplier.

- h) When applying the percentage criteria to determine the permitted maximum number of short-circuited thyristor levels and the permitted maximum number of levels with faults which have not resulted in a thyristor level becoming short-circuited, it is usual practice to round off all fractions to the next highest integer, as illustrated in Table 1.

Table 1 – Thyristor level faults permitted during type tests

Number of thyristor levels in a complete valve minus the number of redundant levels ($N_t - N_r$)	Number of thyristor levels permitted to become short-circuited in any one type test	Total number of thyristor levels permitted to become short-circuited in all type tests	Additional number of thyristor levels, in all type tests, which have experienced a fault but have not become short-circuited
Up to 33	1	1	1
34 to 67	1	2	2
68 to 100	1	3	3
101 to 133	2	4	4
etc.			

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

4.4.3 Criteria applicable to the valve as a whole

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

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

5 List of type tests

Table 2 below lists the type tests given in Clauses 6 to 13.

Table 2 – List of type tests

Type test	Clause or subclause	Test object
Valve support d.c. voltage test	6.3.2	Valve support
Valve support a.c. voltage test	6.3.3	Valve support
Valve support switching impulse test	6.3.4	Valve support
Valve support lightning impulse test	6.3.5	Valve support
MVU d.c. voltage test to earth	7.3.1	MVU
MVU a.c. voltage test	7.3.2	MVU
MVU switching impulse test	7.3.3	MVU
MVU lightning impulse test	7.3.4	MVU
Valve d.c. voltage test	8.3.1	Valve
Valve a.c. voltage test	8.3.2	Valve
Valve switching impulse test	8.3.4	Valve
Valve lightning impulse test	8.3.5	Valve
Valve steep front impulse test	8.3.6	Valve
Valve non-periodic firing test	8.4	Valve
Maximum continuous operating duty tests	9.3.2	Valve or valve-section
Maximum temporary operating duty test ($\alpha = 90^\circ$)	9.3.3	Valve or valve-section
Minimum a.c. voltage tests	9.3.4	Valve or valve-section
Temporary undervoltage test	9.3.5	Valve or valve-section
Intermittent direct current tests	9.3.6	Valve or valve-section
Tests with transient forward voltage during the recovery period	10	Valve or valve-section
One-loop fault current test with re-applied forward voltage	11.3.2	Valve or valve-section
Multiple-loop fault current test without re-applied forward voltage	11.3.3	Valve or valve-section
Tests for valve insensitivity to electromagnetic disturbance	12	Valve or valve-section
Testing of special features and fault tolerance	13	Valve or valve-section

6 Dielectric tests on valve support

6.1 Purpose of tests

The principal objectives of these tests are:

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

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

6.2 Test object

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

6.3 Test requirements

6.3.1 General

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

6.3.2 Valve support d.c. voltage test

The two main terminals of the valve or the MVU shall be connected together and the d.c. voltage then applied between the two main terminals thus connected and earth. Starting from a voltage not higher than 50 % of the maximum test voltage, the voltage shall be raised to the specified 1 min test voltage in approximately 10 s, kept constant for 1 min, reduced to the specified 3 h test voltage, kept constant for 3 h and then reduced to zero. During the last hour of the specified 3 h test, the number of partial discharges exceeding 300 pC shall be recorded as described in Annex B.

The number of pulses exceeding 300 pC shall not exceed 15 pulses per minute, averaged over the recording period. Of these, no more than seven pulses per minute shall exceed 500 pC, no more than three pulses per minute shall exceed 1 000 pC and no more than one pulse per minute shall exceed 2 000 pC.

NOTE 1 If an increasing trend in the magnitude or rate of partial discharge is observed the test duration can be extended by mutual agreement between the purchaser and supplier.

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

NOTE 2 Before repeating the test with opposite polarity, the valve support may be short-circuited and earthed for several hours. The same procedure may be followed at the end of the d.c. voltage test.

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

$$U_{tds} = \pm U_{dmS} \times k_1 \times k_t$$

where

U_{dmS} is the maximum value of the d.c. component of the steady-state operating voltage appearing across the valve support;

k_1 is a test safety factor, equaling 1,6 for the 1 min test and 1,3 for the 3 h test;

k_t is the atmospheric correction factor, equaling the value according to 4.2 for the 1 min test and 1,0 for the 3 h test.

6.3.3 Valve support a.c. voltage test

To perform the test, the two main terminals of the valve or the MVU shall be connected together, and the a.c. test voltage then applied between the two main terminals thus connected and earth. Starting from a voltage not higher than 50 % of the maximum test voltage, the voltage shall be raised to the specified 1 min test voltage U_{tas1} within approximately 10 s, kept constant for 1 min, reduced to the specified 30 min test voltage U_{tas2} , kept constant for 30 min and then reduced to zero. During the last 1 min of the specified 30 min test, the level of partial discharge shall be monitored and recorded. If the value of partial discharge is below 200 pC, the design may be accepted unconditionally. If the value of partial discharge exceeds 200 pC, the test results shall be evaluated (see Clause B.4).

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

$$U_{tas} = \frac{U_{ms}}{\sqrt{2}} \times k_2 \times k_t \times k_r$$

where

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

U_{tas1} is the 1 min test voltage;

U_{tas2} is the 30 min test voltage;

k_2 is a test safety factor equaling 1,3 for the 1 min test and 1,15 for the 30 min test;

k_t is the atmospheric correction factor equaling the value according to 4.2 for the 1 min test and 1,0 for the 30 min test;

k_r is the temporary overvoltage factor equaling the value determined from system studies for the 1 min test and 1,0 for the 30 min test.

6.3.4 Valve support switching impulse test

The test shall comprise three applications of positive polarity and three applications of negative polarity switching impulse voltages between the main terminals, which are in common, and earth.

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

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

6.3.5 Valve support lightning impulse test

The test shall comprise three applications of positive polarity and three applications of negative polarity lightning impulse voltages between the main terminals, which are in common, and earth.

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

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

NOTE If new insulating materials without proven service experience are employed, consideration is given to an additional steep front impulse test.

7 Dielectric tests for multiple valve units (MVU)

7.1 Purpose of tests

The principal objectives of these tests are:

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

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

7.2 Test object

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

Individual valves may have to be short-circuited depending on the configuration of the MVU and the objectives of the test. As an example, for the most common arrangement of four identical, vertically stacked valves (quadruple valve), one valve should be short-circuited in the position which results in the most onerous conditions.

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

NOTE When the low voltage terminal of the MVU is not connected at d.c. neutral potential, the following test method can be used as an alternative provided that the voltage withstand capability between the inner parts of a MVU is checked adequately during other tests (e.g. the tests between the valve terminals) and the MVU low voltage terminal is capable of withstanding the increased voltage stress. In this case the MVU dielectric tests could be performed on a short-circuited MVU.

The test voltage is applied between the MVU with its terminal short-circuited and earth.

7.3 Test requirements

7.3.1 MVU d.c. voltage test to earth

The d.c. test voltage shall be applied between the highest potential d.c. terminal of the MVU and earth.

Starting from a voltage not higher than 50 % of the maximum test voltage, the voltage shall be raised to the specified 1 min test voltage in approximately 10 s, kept constant for 1 min, reduced to the specified 3 h test voltage, kept constant for 3 h and then reduced to zero.

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

The number of pulses exceeding 300 pC shall not exceed 15 pulses per minute, averaged over the recording period. Of these, no more than seven pulses per minute shall exceed 500 pC, no more than three pulses per minute shall exceed 1 000 pC, and no more than one pulse per minute shall exceed 2 000 pC.

NOTE 1 If an increasing trend in the magnitude or rate of partial discharge is observed, the test duration can be extended by mutual agreement between the purchaser and supplier.

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

NOTE 2 Before repeating the test with opposite polarity, the MVU can be short-circuited and earthed for several hours. The same procedure can be followed at the end of d.c. voltage test.

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

$$U_{tdm} = \pm U_{dmm} k_3 \times k_t$$

where

U_{dmm} is the maximum value of the d.c. component of the steady-state operating voltage appearing between the high-voltage terminal of the MVU and earth;

k_3 is a test safety factor;

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

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

k_t is the atmospheric correction factor;

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

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

7.3.2 MVU a.c. voltage test

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

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

Starting from a voltage not higher than 50 % of the 1 min test voltage, the voltage shall be raised to the specified 1 min test voltage in approximately 10 s, kept constant for 1 min, then reduced to the 30 min value, kept constant for 30 min and then reduced to zero.

During the last 1 min of the specified 30 min test, the level of partial discharge shall be monitored and recorded. If the value of partial discharge is below 200 pC, the design may be accepted unconditionally. If the value of partial discharge exceeds 200 pC, the test results shall be evaluated (see Clause B.4).

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

$$U_{tam} = \frac{U_{mm}}{\sqrt{2}} \times k_4 \times k_r \times k_t$$

where

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

k_4 is a test safety factor;

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

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

k_r is the temporary overvoltage factor;

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

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

k_t is the atmospheric correction factor;

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

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

7.3.3 MVU switching impulse test

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

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

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

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

$$U_{tsm} = SIPL_m \times k_5 \times k_t$$

where

$S IPL_m$ is the switching impulse protective level determined by insulation coordination taking into account the arrester(s) connected between the MVU high voltage terminal and earth;

k_5 is a test safety factor;

$k_5 = 1,15$;

k_t is the atmospheric correction factor;

k_t is the value according to 4.2.

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

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

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

7.3.4 MVU lightning impulse test

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

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

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

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

$$U_{tlm} = \pm LIPL_m \times k_6 \times k_t$$

where

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

k_6 is a test safety factor;

k_6 is 1,15;

k_t is the atmospheric correction factor;

k_t is the value according to 4.2.

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

NOTE 1 Subject to agreement between the purchaser and supplier, the MVU lightning impulse test can be performed if it can be shown by other means that:

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

NOTE 2 In some circumstances, consideration is given to a separate steep front impulse voltage test in order to supplement the valve steep front impulse test (see 8.3.6).

8 Dielectric tests between valve terminals

8.1 Purpose of tests

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

- a) the valve will withstand the specified overvoltages;
- b) any internal overvoltage protective circuits are effective;
- c) partial discharges will be within specified limits under specified test conditions;
- d) the internal d.c. grading circuits have sufficient power rating;
- e) the valve electronic circuits are immune to interference and function correctly;
- f) the valve can be fired from specified high overvoltage conditions without damage.

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

8.2 Test object

The test object shall be a complete valve which shall be assembled with all auxiliary components except for the valve surge arrester. The valve may form part of a multiple valve unit. For all impulse tests, the valve electronics shall be energized unless otherwise specified. For the a.c. and d.c. voltage tests, the valve electronics need not be energized.

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

The test object used for the valve dielectric tests will normally not permit the application of atmospheric correction to the specified test voltages without overstressing the thyristors or other internal components. For this reason, no atmospheric correction factor is applied to any of the dielectric tests between valve terminals. The supplier shall demonstrate that the effects of atmospheric conditions on the valve internal withstand have been allowed for adequately. Separate tests to verify that capability may be carried out on a case-by-case basis.

8.3 Test requirements

8.3.1 Valve d.c. voltage test

The d.c. test voltage source shall be connected so that the voltage is applied between one main terminal of the valve and earth, with the other main terminal of the valve earthed.

Starting from a voltage not higher than 50 % of the maximum test voltage, the voltage shall be raised to the specified 1 min test level within approximately 10 s, kept constant for 1 min, reduced to the specified 3 h test voltage, kept constant for 3 h and then reduced to zero. During the last hour of the specified 3 h test, the number of partial discharges exceeding 300 pC shall be recorded as described in Annex B.

The number of pulses exceeding 300 pC shall not exceed 15 pulses per minute averaged over the recording period. Of these, no more than seven pulses per minute shall exceed 500 pC, no

more than three pulses per minute shall exceed 1 000 pC, and no more than one pulse per minute shall exceed 2 000 pC.

NOTE 1 If an increasing trend in the rate or magnitude of partial discharge is observed, the test duration can be extended by mutual agreement between the purchaser and supplier.

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

NOTE 2 Before repeating the test with opposite polarity, the valve terminals can be short-circuited and earthed for several hours. The same procedure can be followed at the end of d.c. voltage test.

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

$$U_{tdv} = \pm U_{dn} \pm k_7$$

where

U_{dn} is the rated six-pulse bridge voltage;

k_7 is a test safety factor;

$k_7 = 1,6$ for the 1 min test;

$k_7 = 0,8$ for the 3 h test.

8.3.2 Valve a.c. voltage test

To perform the test, the test voltage source(s) shall be connected to the valve terminals. The point of earth connection is dependent on the test circuit arrangement. Starting from a voltage not higher than 50 % of the maximum test voltage, the voltage shall be raised to the specified 15 s test voltage within approximately 10 s, kept constant for 15 s, reduced to the specified 30 min test voltage, kept constant for 30 min, and then reduced to zero. During the last 1 min of the specified 30 min test, the level of partial discharge shall be monitored and recorded. The value of partial discharge shall not exceed 200 pC (see Annex B).

The 15 s test voltage of the valve U_{tav1} shall be determined as follows:

$$U_{tav1r} = \sqrt{2}U_{v0max} \times k_r \times k_c \times k_8$$

and

$$U_{tav1d} = \sqrt{2}U_{v0max} \times k_r \times k_8$$

where

U_{tav1r} is the peak value of the required 15 s test voltage in the reverse direction;

U_{tav1d} is the peak value of the required 15 s test voltage in the forward direction;

U_{v0max} is the maximum steady-state no-load phase-to-phase voltage on the valve side of the transformer;

k_r is the temporary overvoltage factor;

k_r is the value determined from system studies;

k_c is the commutation overshoot factor in the reverse direction, calculated for recovery at the crest of the load rejection overvoltage ($\alpha = 90^\circ$) including the increase arising from the reverse recovery charge of the thyristors. k_c shall allow for the limiting effect of the parallel connected valve arrester;

k_8 is a test safety factor;

$k_8 = 1,10$.

NOTE Since the value of U_{tav1r} is greater than or equal to U_{tav1d} , the 15 s test can be achieved either with a symmetrical a.c. test voltage of r.m.s. value equal to $U_{tav1r}/\sqrt{2}$ or by a combined a.c. plus d.c. test voltage which satisfies both requirements.

The r.m.s. value of the 30 min test voltage U_{tav2} shall be determined as follows:

$$U_{tav2} = \frac{U_{ppv}}{2\sqrt{2}} \times k_g$$

where

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

k_g is a test safety factor;

$k_g = 1,15$.

Where U_{tav2} exceeds the maximum effective r.m.s. content of the valve operating voltage U_{vrms} by more than 15 %, the following alternative test procedure may be adopted:

Apply the test voltage U_{tav1} for 15 s and then U_{tav2} for 10 min. The value of partial discharge during the last minute of the 10 min test shall not exceed 200 pC.

At the end of the 10 min test, reduce the test voltage to U_{tav3} and maintained at this level for 30 min, where:

$$U_{tav3} = k_g \times U_{vrms}$$

where

U_{vrms} is the maximum r.m.s. content of the valve voltage under the most severe continuous operating conditions.

8.3.3 Valve impulse tests (general)

Valve impulse tests should meet the following requirements:

- a) This standard permits selection between two valve impulse test programmes depending upon the cost-benefit considerations for the application.

In the first alternative, the test safety factor for lightning and switching impulse tests is 1,1 and for steep front impulse tests 1,15 with the thyristors present, plus 1,15 and 1,2 respectively with the thyristors replaced by insulating blocks.

In the second alternative, the test safety factor for lightning and switching impulse tests is 1,15 and for steep front impulse tests 1,2 with the thyristors present.

Further information is given in Annex A.

- b) If the valve utilises protective firing, impulse test voltages applied in the forward direction will be prospective only. It shall be demonstrated that any such protective firing circuits behave as intended.
- c) Unless otherwise specified, the valve electronics shall be energized.
- d) It shall be demonstrated that the voltage across the valve at the initiation of the impulse satisfies the following relationship:

$$-0,01 \times V_{DSM} \times (N_t - N_r) \leq \text{valve voltage} \leq +0,01 \times V_{DSM} \times (N_t - N_r)$$

where

V_{DSM} is the non-repetitive peak forward surge voltage rating of the thyristors;

N_t is the total number of series thyristor levels in the valve;

N_r is the total number of redundant series thyristor levels in the valve.

- e) During the impulse tests, the valve shall be monitored for correct behaviour with regard to electromagnetic interference (see Clause 12). For this to be possible, those parts of the valve base electronics that are necessary for the proper exchange of information with the test valve shall be included.

8.3.4 Valve switching impulse test

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

The test shall comprise three applications of positive polarity and three applications of negative polarity switching impulse voltages of specified amplitude with the valve electronics initially energized.

The positive polarity test shall be repeated with the valve electronics initially de-energized.

If the valve incorporates protective firing against overvoltages in the forward direction, which operates during the forward test, three additional applications of positive switching impulses of an agreed amplitude, so that the valve does not fire, shall be made. For the additional tests, the valve electronics shall be energized.

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

$$U_{tsv} = \pm SIPL_v \times k_{10}$$

where

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

k_{10} is a test safety factor (see 8.3.3 a)).

8.3.5 Valve lightning impulse test

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

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

If the valve incorporates protective firing against overvoltages in the forward direction, which operates during the forward test, three additional applications of positive impulses of an agreed amplitude and front time, so that the valve does not fire, shall be made.

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

$$U_{tlv} = \pm LIPL_v \times k_{11}$$

where

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

k_{11} is a test safety factor (see 8.3.3 a)).

8.3.6 Valve steep front impulse test

For the steep front impulse test, a voltage waveshape as defined by Figure 1 shall be used. The virtual steepness S and crest value of the worst case valve steep front impulse voltage stress shall be determined from system studies. The virtual steepness shall be evaluated from the study results as the maximum du/dt , in $kV/\mu s$, averaged over 60 % of the total voltage excursion.

When deriving the test voltage, the virtual steepness and amplitude derived from the system studies shall both be multiplied by the relevant test safety factor, i.e. the virtual front time shall be held constant.

NOTE If overvoltages with wavefronts shorter than 0,1 µs are expected to occur in service, the purchaser and supplier can agree on an appropriate very fast front voltage test in place of the steep front impulse test described above.

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

If the valve incorporates protective firing against overvoltages or excessive du/dt in the forward direction, which operates during the forward test, three additional applications of positive impulses of an agreed amplitude and front time, so that the valve does not fire, shall be made.

The valve steep front impulse test withstand voltage U_{tsfv} shall be determined in accordance with the following:

$$U_{tsfv} = \pm STIPL_v \times k_{12}$$

where

$STIPL_v$ is the steep front impulse protective level of the valve arrester as determined by the coordinating current from system studies;

k_{12} is a test safety factor (see 8.3.3 a)).

8.4 Valve non-periodic firing test

8.4.1 Purpose of test

The principal objective of the valve non-periodic firing tests is to check the adequacy of the thyristors and the associated electrical circuits with regard to current and voltage stresses at turn-on under specified high-voltage conditions. This test can usually be performed as part of the valve switching impulse test (see 8.3.4).

8.4.2 Test object

Test object should be as in 8.2. The test can be made on the valve section instead of complete valve for the surge arrester method B in 8.4.3. In this case, supplier shall show the equivalency between the valve section test and the complete valve test.

If immunity to electromagnetic disturbance due to coupling between adjacent valves in a MVU is to be demonstrated by approach one as in 12.3.2, then in addition to the test valve, an auxiliary valve (or sufficient portion thereof) shall be included in the test. This auxiliary valve is the test object in so far as the demonstration of immunity to electromagnetic disturbance by coupling is concerned. The electromagnetic disturbance test object shall be configured geometrically in accordance with the service arrangement. The electromagnetic disturbance test object shall be forward biased at the triggering instant of the valve subjected to non-periodic firing. The electronics of the electromagnetic disturbance test object shall be energized. Those parts of the valve base electronics that are necessary for the proper exchange of information with the electromagnetic disturbance test object shall be included.

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

8.4.3 Test requirements

The test shall comprise three applications of positive switching impulse voltage and the valve triggered into conduction at the crest of the impulse.

The impedance of the impulse generator shall be selected to reproduce not only the turn-on current arising from the discharge of the circuit stray capacitance, but also that arising from commutation of the maximum value of surge arrester current determined from system studies.

The test shall be performed at room temperature.

Two methods for achieving this are acceptable as described below.

A Parallel capacitor method. In this method, a capacitor shall be connected in parallel with the test valve, the value of which will result in a current discharge at least as severe as the first 10 μs of the predicted value. Longer times may be important if system studies show that the turn-on current is oscillatory and that there is a risk of current extinction in the thyristors. The peak value of current shall be determined from system studies, taken into account all the following conditions:

- valve voltage at firing;
- non-linear behaviour of valve reactors;
- damping effect of thyristor conduction resistance;
- valve stray capacitance and inductance.

B Surge arrester method. In this method, an arrester shall be connected between the valve terminals, and the test voltage applied from behind an inductance equal to that of the commutating inductance. Capacitance equal to the maximum value of valve terminal-to-terminal stray capacitance expected in service shall be connected between the valve terminals. When the current through and voltage across the arrester reaches the prescribed levels, the valve shall be triggered into conduction.

The valve voltage at firing shall be the lowest of:

- a) the switching impulse protective level of the valve arrester;
- b) the protective firing level of the valve;
- c) the firing inhibit level of the valve (see Note 3).

If the valve is triggered by protective firing below the switching impulse protective level of the valve arrester, then the test shall be repeated with the redundant thyristor levels operational. If the valve still triggers by protective firing below the switching impulse protective level, the test shall again be repeated with the impulse level reduced to just below the protective firing threshold and the valve triggered by the normal firing circuits.

NOTE 1 A voltage test safety factor at least equal to the difference between the maximum tolerance and minimum tolerance of the valve arrester (typically about 5 %) is already included in this test resulting in a corresponding increase in current. Therefore, no separate test safety factor is applied to the test voltage and current.

NOTE 2 Because of limitations in the practical size of impulse generators, method B is suitable only for valves of low voltage rating. Therefore, when system studies show a need for accurate turn-on current representation at times longer than 10 μs , the valve non-periodic firing test can be performed using method A and be supplemented by separate tests on valve sections using method B.

NOTE 3 In some designs, firing of the valve from high voltage can be inhibited by a voltage measurement across the valve, or by a current measurement in the parallel valve arrester. If this is the case, the details of the non-periodic firing test are agreed by the purchaser and the supplier taking into account the characteristics of the inhibiting circuits employed.

9 Periodic firing and extinction tests

9.1 Purpose of tests

The principal objectives of the periodic firing and extinction tests are:

- a) to check the adequacy of the thyristor levels and associated electrical circuits in a valve with regard to current, voltage and temperature stresses at turn-on and turn-off under the worst repetitive stress conditions;

- b) to demonstrate correct performance of the valve at minimum repetitive voltage, coincident with minimum delay and extinction angles, at maximum temperature.

9.2 Test object

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

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

9.3 Test requirements

9.3.1 General

The tests shall be performed using suitable test circuits giving stresses equivalent to the appropriate service conditions such as two six-pulse bridges in back-to-back connection or an appropriate synthetic test circuit.

The coolant shall be in a condition representative of service conditions. Flow and temperature, in particular, shall be set to the most unfavourable values appropriate to the test in question.

The equivalent service conditions to be reproduced are specified in 9.3.2 to 9.3.6. Subclauses 9.3.2, 9.3.3 and 9.3.4 are defined for operation with maximum continuous operating thyristor junction temperature. If higher firing or recovery voltages, alternatively lower delay or extinction angles, are possible under loading conditions which do not coincide with maximum continuous operating thyristor junction temperature, then these shall also be reproduced. Examples where this may be the case include winter overload operation, and the use of the converters to limit the export of surplus reactive power into the a.c. network at light load conditions. When tests are performed to reproduce such conditions, the test current and coolant temperature may be adjusted to reflect the worst case thermal conditions appropriate to the service conditions being represented in the test.

To obtain voltage and current stresses representative of service conditions, it is important that the total stray capacitance associated with the valve and the inductances contributing to the commutating reactance be properly represented in the circuit. In a deblocked six-pulse bridge circuit, each valve experiences a parallel impedance equal to 1,5 times that of a single off-state valve. If a test circuit other than a six-pulse bridge is used, then it is important that this feature is also properly represented in the circuit.

When testing with valve sections, the scaling factor for tests shall be applied.

Test voltages and test circuit resistances and inductances shall be determined from the full scale values by being multiplied by a scaling factor, while test circuit capacitances shall be determined from the full scale values by being divided by a scaling factor.

In order to reproduce correct heating effects, the periodic firing and extinction tests should be performed at the service frequency. When this is not possible and the service frequency is different from the test frequency, then the test conditions shall be adjusted so as to approximately compensate the difference in frequency dependent losses, as necessary to demonstrate the proper stressing of the equipment. Guidance on the sensitivity to frequency of the various loss producing mechanisms can be found in IEC 61803.

During the tests, the temperature rise of the most critical heat producing components and their adjacent mounting surfaces shall be monitored to verify that the maximum temperatures reached are within limits permitted by the design (see 4.4.3). The number and location of the components to be monitored shall be agreed, but shall be not less than three examples each of: thyristor case temperature, damping resistor surface temperature, and valve saturable reactor surface temperature. If less than three items of a type of component are installed in a valve, all components of this type in the valve shall be monitored.

9.3.2 Maximum continuous operating duty tests

9.3.2.1 General

The test current shall be based on the maximum continuous direct current at maximum ambient temperature.

The test current shall incorporate a test safety factor of 1,05.

The test voltage U_{tpv1} corresponding to the no-load phase-to-phase value in a six-pulse bridge converter shall be determined as follows:

$$U_{tpv1} = U_{v0max} \times k_n \times k_{13}$$

where

U_{v0max} is the maximum steady-state no-load phase-to-phase voltage on the valve side of the transformer;

k_n is a test scaling factor according to 4.3.2;

k_{13} is a test safety factor;

$k_{13} = 1,05$.

Three maximum operating duty test conditions shall be satisfied as detailed in 9.3.2.2, 9.3.2.3 and 9.3.2.4 below. These conditions can be satisfied singly or in any combination.

NOTE Subject to agreement between the purchaser and supplier, consideration can be given to apply the current and voltage stresses separately, provided it can be demonstrated that the objectives of the tests are met.

9.3.2.2 Maximum continuous firing voltage test

Operate the valve or valve sections at a delay angle α so that the valve (section) firing voltage u_f is not lower than the greater of:

a) $u_{fr} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin \alpha$

b) $u_{fi} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin(\gamma + \mu)$

where

α is the steady-state delay angle corresponding to the rectifier service condition that leads to the highest value of u_{fr} , coincident with operation at maximum continuous operating thyristor junction temperature;

$(\gamma + \mu)$ is the sum of the steady-state extinction angle and overlap angle corresponding to the inverter service condition that leads to the highest value of u_{fi} , coincident with operation at maximum continuous operating thyristor junction temperature.

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

9.3.2.3 Maximum continuous recovery voltage test

Operate the valve or valve sections at a delay angle α so that the prospective step voltage at recovery at current zero u_r is not lower than the greater of:

a) $u_{rr} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin(\alpha + \mu)$

b) $u_{ri} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin\gamma$

where

$(\alpha + \mu)$ is the sum of the steady-state delay angle and overlap angle corresponding to the rectifier service condition that leads to the highest value of u_{rr} , coincident with operation at maximum continuous operating thyristor junction temperature;

γ is the steady-state extinction angle corresponding to the inverter service condition that leads to the highest value of u_{ri} , coincident with operation at maximum continuous operating thyristor junction temperature.

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

9.3.2.4 Heat-run test

To simulate the maximum combined losses in thyristors and damping circuits during continuous operation, operate the valve or valve sections at a delay angle α so that the sum of the squares of the jump voltages in the valve voltage waveshape, measured over one cycle (excluding the commutation overshoot transients) is not lower than:

$$\sum \Delta V^2 = (1,75 + 1,5m^2) \times 2 \times U_{tpv1}^2 [\sin^2\alpha + \sin^2(\alpha + \mu)]$$

where

m is the electromagnetic notch factor (see 5.1.4 of IEC 61803, 1999);

α and μ correspond to the rectifier or inverter steady-state service condition for which $U_{tpv1}^2 [\sin^2\alpha + \sin^2(\alpha + \mu)]$ is maximum, coincident with operation at maximum continuous operating thyristor junction temperature.

If a two \times six-pulse back-to-back test circuit is used, the conditions required for this test are automatically met when performing 9.3.2.2 and 9.3.2.3. However, differences to twelve-pulse operation shall be considered.

The duration of the test shall be not less than 1 h after the exit coolant temperature has stabilized.

9.3.3 Maximum temporary operating duty test ($\alpha = 90^\circ$)

The test voltage U_{tpv2} corresponding to the no-load phase-to-phase value in a six-pulse bridge converter shall be determined as follows:

$$U_{tpv2} = U_{v0max} \times k_n \times k_r \times k_{14}$$

where

U_{v0max} is the maximum steady-state no-load phase-to-phase voltage on the valve side of the transformer;

k_n is a test scaling factor according to 4.3.2;

k_r is the temporary overvoltage factor;

k_r is a value determined from system studies;

k_{14} is a test safety factor;

$k_{14} = 1,05$.

Prior to the test, the valve or valve sections, shall be brought to thermal equilibrium under the conditions of 9.3.2.2. Operate the valve or valve sections, for the specified time, at a delay angle $\alpha = 90^\circ$ so that the firing and prospective recovery voltages are not less than $U_{tpv2} \times \sqrt{2}$.

The sum of the squares of the jump voltages in the valve voltage waveshape shall be not less than that obtained from the expression given in 9.3.2.4 using $\alpha = 90^\circ$ and $U_{\text{tpv}1}$ as defined in this clause. The current during the period of $\alpha = 90^\circ$ operation shall be at least equal to the maximum value for $\alpha = 90^\circ$ operation, determined from system studies, multiplied by a test safety factor of 1,05. After the specified time at $\alpha = 90^\circ$, return to the conditions corresponding to 9.3.2.2 and maintain constant for at least 15 min.

The duration of operation at $\alpha = 90^\circ$ shall be at least twice the normal permitted time in service at this delay angle.

Depending on the temporary overvoltage control strategy for the scheme, tests of different duration, with different values of k_r , may be required.

9.3.4 Minimum a.c. voltage tests

9.3.4.1 General

The test current and coolant temperature shall be selected as defined in 9.3.2.

The test voltage $U_{\text{tpv}3}$ corresponding to the no-load phase-to-phase value in a six-pulse bridge converter shall be determined as follows:

$$U_{\text{tpv}3} = U_{\text{v}0\text{min}} \times \frac{N_{\text{tut}}}{N_{\text{t}}} \times k_{15}$$

where

$U_{\text{v}0\text{min}}$ is the lowest steady-state no-load phase-to-phase voltage on the valve side of the transformer;

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

N_{t} is the total number of series-connected thyristor levels in a complete valve, including redundant levels;

k_{15} is a test safety factor;

$k_{15} = 0,95$.

9.3.4.2 Minimum delay angle test

Operate the valve or valve sections at a rectifier delay angle α so that the valve (section) firing voltage u_{fr} is not higher than:

$$u_{\text{fr}} = U_{\text{tpv}3} \times \sqrt{2} \times \sin \alpha$$

where α is the smallest steady-state rectifier delay angle in service coincident with operation at maximum continuous operating thyristor junction temperature.

The duration of the test shall be not less than 15 min after the exit coolant temperature has stabilized.

If the operating strategy of the converter permits temporary operation with α below the minimum steady-state value, then operation at this reduced value shall also be demonstrated. The duration of operation at the transient α value shall be at least twice the normal permitted time in service at this delay angle.

It shall be demonstrated that the valve (sections) fire regularly at both the steady-state and transient values of α .

9.3.4.3 Minimum extinction angle test

Operate the valve or valve sections at an inverter extinction angle γ so that the prospective step voltage at recovery at current zero u_{ri} is not higher than:

$$u_{ri} = U_{tpv3} \times \sqrt{2} \times \sin \gamma$$

and the time from current zero to positive-going voltage zero crossing t_{off} is not greater than:

$$t_{off} = \frac{\gamma}{360 \times f}$$

where

γ is the smallest steady-state extinction angle in service coincident with operation at maximum operating thyristor junction temperature;

f is the service frequency.

The duration of the test shall be not less than 15 min after the exit coolant temperature has stabilized.

If the operating strategy of the converter permits temporary operation with γ below the minimum steady-state value, then operation at this reduced value shall also be demonstrated. The duration of operation at the transient minimum γ value shall be at least twice the normal permitted time in service at this extinction angle.

It shall be demonstrated that no commutation failures occur at either the steady-state or transient minimum values of γ .

9.3.5 Temporary undervoltage test

The purpose of this test is to verify the correct performance of those valve designs in which energy for the firing circuits is extracted from the voltage appearing between the valve terminals.

Prior to the test, the valve or valve sections shall be operated under conditions corresponding to 9.3.4.2 (steady-state minimum α) except for the test current which may be reduced. Operate the valve or valve sections, for the specified time at minimum transient value of α , coincident with a test voltage U_{tpv4} , which shall be determined as follows:

$$U_{tpv4} = U_{v0N} \times \frac{N_{tut}}{N_t} \times k_u \times k_{16}$$

where

U_{v0N} is the nominal value of the no-load phase-to-phase voltage on the valve side of the transformer;

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

N_t is the total number of series-connected thyristor levels in a complete valve, including redundant levels;

k_u is the temporary undervoltage factor (fundamental frequency) for which the converters shall remain controllable;

k_{16} is a test safety factor;

$k_{16} = 0,95$.

The duration of operation with temporary undervoltage shall be not less than the back-up fault clearing time for the a.c. system, including, where appropriate, any dead-time arising from auto-reclose sequences in the a.c. system.

After the specified time, return to the conditions corresponding to 9.3.4.2.

It shall be demonstrated that the valve (sections) remain controllable over the full duration of the temporary undervoltage.

Depending on the level of temporary undervoltage and the method of test adopted, it may not be possible to maintain normal operation of the test circuit during the test. If this occurs, it shall be demonstrated that this is an inherent consequence of the abnormal voltage conditions during the test and not a result of a failure of the valve (sections) to respond correctly to the firing control signals.

9.3.6 Intermittent direct current tests

The test shall be performed with the valve coolant at its maximum temperature. The stresses arising from intermittent direct current operation for two operating conditions shall be reproduced:

- a) $\alpha = 90^\circ$ operation with maximum a.c. voltage and $k_r = 1,0$ (see 9.3.3);
- b) rectifier minimum α operation with minimum a.c. voltage (see 9.3.4.1).

The duration of the test shall be at least twice the normal permitted time in service for operation with intermittent direct current under the specified conditions.

The tests shall demonstrate safe turn-on of the thyristors, in accordance with the design, at the requisite number of firings per cycle. For an effective demonstration, the behaviour of the valve (sections) should be explored with an adjustable intermittent direct current in which the duration of the periods of zero current can be varied from zero to a value which is long, compared with the turn-off time of the thyristors.

NOTE The maximum number of current pulses per cycle in a valve during intermittent direct current operation is normally four for valves used in HVDC transmission applications and eight for valves used in back-to-back schemes.

10 Tests with transient forward voltage during the recovery period

10.1 Purpose of tests

The principal objective of the tests with transient forward voltage during the recovery period is to check that, at maximum temperature, the valve will tolerate the application of transient forward voltages in the period immediately following current extinction. The tests shall demonstrate that the valve will either withstand the transient forward voltage or will turn on safely.

A second objective is to demonstrate that, for transients in the forward direction applied after the recovery interval, the protective firing level and du/dt withstand of a valve containing operating thyristors at their maximum steady-state junction temperature are consistent with the design.

10.2 Test object

See 9.2.

10.3 Test requirements

The test requirements are the same as for the periodic firing and extinction tests, Clause 9, except that an impulse generator, connected across an inverter valve or valve section, is also

required. Triggering of the impulse generator shall be synchronized with the normal operating waveshapes to apply forward impulses to the valve or valve sections under test in the interval immediately following current extinction.

The test current and coolant temperature shall be selected to produce the maximum continuous operating thyristor junction temperature. The operating conditions for the valve (sections) under test shall be those of 9.3.4.3 for steady-state minimum γ .

The impulse generator shall be set so that the prospective peak voltage in the forward direction U_{tvd} is determined by:

$$U_{\text{tvd}} = U_{\text{IMPLV}} \times k_n$$

where

U_{IMPLV} is the impulse protective level of the valve arrester, alternatively the guaranteed non-firing level for protective firing with a switching impulse waveshape, if lower;

k_n is a scaling factor according to 4.3.2.

NOTE 1 U_{SIPLV} is used as U_{IMPLV} in 100 μs front time waveshape and U_{LIPLV} is used as U_{IMPLV} in 1,2 and 10 μs front time waveshapes.

The test shall be performed with three different impulse waveshapes:

- type 1: 100 μs front time $\pm 30\%$;
- type 2: 10 μs front time $\pm 30\%$;
- type 3: 1,2 μs front time $\pm 30\%$.

The time from voltage crest to half value of the impulse is not critical, but shall be not less than 10 μs for any waveshape when applied under conditions for which the valve does not turn on due to the impulse.

NOTE 2 The sensitivity of the equipment to impulses of different waveshapes is design dependent. Subject to agreement between purchaser and supplier, consideration can be given to restricting the test to a single impulse waveshape, provided it can be shown that the objectives of the test are met.

Not less than five impulses of each type shall be applied singly, at various times in the interval from current zero to the end of the negative recovery period. Three additional impulses of each type shall be applied after the recovery period has ended.

NOTE 3 The recovery period is considered to have ended when the thyristors have regained their full off-state voltage and du/dt withstand capabilities. This can be marked, in some designs, by the ending of a time window during which protection circuits have increased sensitivity. The relevant time is stated by the supplier.

The valve or valve sections shall either withstand the impulses or turn-on safely.

If the valve incorporates protective firing against transient forward voltages in the recovery period then it shall be demonstrated that the protection operates as intended.

The valve shall not fire for any impulse applied after the recovery period has ended, unless firing can be shown to be due to a legitimate response of the protective firing circuits during the off-state (see Note 3 above). If protective firing occurs with the specified waveshapes, when applied after the recovery period has ended, then three additional applications of positive impulses of revised amplitude and front time, such that the valve does not fire, shall be made. It shall be demonstrated that the revised amplitude and front times for non-firing are consistent with the protective firing strategy for the valve.

11 Valve fault current tests

11.1 Purpose of tests

The principal objectives of the fault current tests are to demonstrate proper design of the valve to withstand the maximum current, voltage and temperature stresses arising from short-circuit currents.

The tests shall demonstrate that the valve is capable of:

- a) suppressing a one-loop fault current of maximum amplitude, commencing from maximum temperature and blocking the ensuing reverse and forward voltages, including any overvoltage due to load rejection;
- b) surviving, to circuit breaker trip, a multiple-loop fault current, under conditions similar to the one-loop test, but with no re-applied forward voltage. This test covers the – normally rare – case where phase shifts or transients in the AC system prevent the conditions needed for the valve to block the fault at the end of the first cycle.

11.2 Test object

See 9.2.

11.3 Test requirements

11.3.1 General

The tests shall be performed using test circuits which are capable of reproducing, as closely as possible, the most severe fault current conditions specified.

For the one-loop fault current test, the principal requirement is to reproduce the worst combination of forward voltage and thyristor junction temperature at the time of the crest of the first positive half cycle of re-applied voltage following one loop of fault current.

For the multiple-loop fault current test, the principal requirement is to reproduce the worst combination of reverse voltage and thyristor junction temperature at negative recovery following the penultimate loop of a multiple-loop fault current.

A second requirement of the one-loop fault current test is to demonstrate that the thyristors have adequate turn-off time to be able to withstand the re-application of forward voltage at the positive-going voltage zero crossing immediately following the fault current. The time interval between current zero and positive-going voltage zero crossing is dependent on the damping factor of the test circuit and on the test supply frequency. These should either be made equal to the service values or adjusted so as to produce a representative value for the hold-off interval. Where this is not possible, the supplier shall demonstrate by other means, that the turn-off time of the thyristors, after one loop of fault current, is adequately short.

In order to reproduce the correct transient reverse voltages during the multiple-loop fault current test, it is important that the total stray capacitance associated with the valve and inductances contributing to the commutating reactance be properly represented in the circuit. It is important that the effective parallel impedance of the other valves of a six-pulse bridge is properly represented, taking into account the location of the presumed short circuit and the control strategy adopted during overcurrents. The valve or valve sections need not be subjected to any recovery voltage after the final loop of fault current.

When testing with valve sections, the test voltages and test circuit component values shall be scaled according to the number of series-connected thyristor levels under test as described in 9.3.

NOTE The fault current tests specified in 11.3.2 and 11.3.3 are based on the normal worst case condition of the maximum value of fault current arising from a short circuit across a rectifier valve. If the worst combination of

voltage and junction temperature for the thyristors does not coincide with the maximum fault current arising from a short circuit across a rectifier valve, then the test conditions are adjusted accordingly.

11.3.2 One-loop fault current test with re-applied forward voltage

Prior to the test, the valve or valve sections shall be operated to produce the maximum continuous operating thyristor junction temperature.

Subject the valve or valve sections to one loop of fault current of the specified peak value and conduction duration, followed by re-application of forward voltage. The crest value of the first half cycle of re-applied forward voltage U_{tfvd} shall be determined as follows:

$$U_{\text{tfvd}} = U_{\text{v0max}} \times \sqrt{2} \times k_n \times k_r \times k_{17}$$

where

U_{v0max} is the maximum steady-state no-load phase-to-phase voltage on the valve side of the transformer;

k_n is a test scaling factor according to 4.3.2;

k_r is the temporary overvoltage factor;

k_r is the value determined from system studies;

k_{17} is a test safety factor;

$k_{17} = 1,05$.

The peak value and conduction duration of the fault current shall be determined from system studies, taking into account:

- the maximum a.c. system short-circuit fault level;
- the minimum steady-state a.c. system frequency consistent with the above;
- the minimum tolerance value of the converter transformer reactance referred to the valve side;
- the most critical of the following combinations:
 - the lowest delay angle at fault initiation corresponding to the maximum steady-state operating voltage referred to the valve side,
 - the lowest operating voltage referred to the valve side at fault initiation corresponding to the minimum transient delay angle;
- the minimum damping factors for the a.c. system and converter transformer referred to the valve side;
- a short circuit across a rectifier valve.

The peak value of the fault current so calculated shall not be reduced by half the d.c. current ($I_d/2$) unless the supplier can demonstrate that the reduction is valid for the proposed control strategy.

The value of k_r shall be consistent with the a.c. system conditions used for calculating the fault current. The d.c. load rejected shall be that portion of the rated d.c. power of the converter station which is lost due to the fault.

If the parameters of the test circuit prevent the specified fault current amplitude and conduction duration from being achieved, then a current waveshape of equivalent severity may be used. It shall be demonstrated that the equivalent waveshape results in a thyristor junction temperature, at the time of peak voltage stress, which is at least as great as that which would have occurred with the correct current waveshape.

11.3.3 Multiple-loop fault current test without re-applied forward voltage

Prior to the test, the valve or valve sections shall be operated to produce the maximum continuous operating thyristor junction temperature.

Subject the valve or valve sections to one application of the specified number of loops of fault current of the specified peak value and conduction duration. The valve or valve sections shall be subjected to reverse voltage between the loops of fault current, but shall be prevented from experiencing forward blocking voltage by continuously triggering the thyristors.

The prospective value of reverse recovery voltage at current zero of the penultimate fault current loop U_{tfvr} shall be determined as follows:

$$U_{\text{tfvr}} = U_{\text{v0max}} \times \sqrt{2} \sin \psi \times k_n \times k_r \times k_{18}$$

where

U_{v0max} is the maximum steady-state no-load phase-to-phase voltage on the valve side of the transformer;

ψ is the fraction, in degrees, of one cycle of the service waveform, by which current zero of the penultimate fault current loop precedes positive-going voltage zero crossing;

k_n is a test scaling factor according to 4.3.2;

k_r is the temporary overvoltage factor;

k_r is the value determined from system studies;

k_{18} is a test safety factor;

$k_{18} = 1,05$.

The number of fault current loops shall be determined from the operating time of the primary circuit-breaker used for terminating short-circuit currents in the converter. The operating time shall include the fault detection and signalling delays as well as the breaker clearing time.

The peak value and conduction duration of the fault current loops shall be determined in the same manner as defined in 11.3.2 except that, for all fault loops after the first, the delay angle of initiation shall be 0° .

The value of k_r shall be determined as described in 11.3.2.

12 Tests for valve insensitivity to electromagnetic disturbance

12.1 Purpose of tests

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

Generally, the valve insensitivity to electromagnetic disturbance can be checked by monitoring the valve during other type tests. Of these, the valve impulse tests (8.3.3 to 8.3.5) and the valve non-periodic firing test (8.4) are the most important because the events reproduced by these tests can be expected during normal operation of the converter station and do not normally cause the converter station to be tripped.

The tests should demonstrate that:

- a) out-of-sequence or spurious triggering of thyristors does not occur;

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

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

12.2 Test object

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

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

12.3 Test requirements

12.3.1 General

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

12.3.2 Approach one

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

Subclause 8.4.2 gives further details of requirements if approach one is adopted.

12.3.3 Approach two

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

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

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

- the valve section shall have operational voltage (proportionally scaled) between its terminals and be forward biased at the time of energization of the field coil;
- the electronics of the valve section under test shall be energized;

- those parts of the valve base electronics that are necessary for the proper exchange of information with the valve section shall be included.

12.3.4 Acceptance criteria

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

13 Testing of special features and fault tolerance

13.1 Purpose of tests

13.1.1 General

These tests are intended to verify the design and performance of any special features of the valve. Special features may include, but are not limited to, those in the following two categories.

13.1.2 Circuits to facilitate the proper control, protection and monitoring of the valve

Generally, these features can be demonstrated as part of the other tests.

13.1.3 Features included in the valve to provide fault tolerance

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

a) Short circuit of a thyristor

Even though a short-circuited thyristor will shunt the other components at the thyristor level, in some designs there may be a danger of overloading gate pulse transformers, overloading of current connections (where parallel thyristors are used), or changing the clamping load.

b) Continuous operation of protective firing at one thyristor level due to loss of normal firing pulses to that level.

Continuous operation of protective firing can lead to overload of the damping resistor and other components at the affected level.

c) Insulation failure of a pulse transformer (if feeding two or more series-connected thyristors), damping capacitor, damping resistor or grading capacitor.

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

d) Leakage of small quantities of valve coolant

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

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

13.2 Test object

Tests may be performed on a complete valve, valve section or relevant parts of either.

13.3 Test requirements

The test procedures and acceptance criteria shall be chosen having regard to the actual design of the valve. It shall be demonstrated that the components or circuits involved behave as intended.

14 Production tests

14.1 General

This clause covers tests on assemblies of components that are parts of valves, valve sections, or auxiliary circuits for their protection, control and monitoring. It does not cover tests on individual components that are used within the valve, the valve support, or valve structure. Production tests may include routine tests as well as sample tests. In this clause, only routine test objectives are given.

NOTE In some cases it could be necessary to perform sample tests on complete assemblies in addition to the routine tests, for example when modifications are introduced in the course of production to verify that the valve maintains its performance without deviation from its original type tested design. The programme of sample tests is agreed between the purchaser and supplier.

14.2 Purpose of tests

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

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

14.3 Test object

All valve sections or parts thereof manufactured for the project shall be subjected to the routine tests. For sample tests the test object should be agreed between the purchaser and the supplier.

14.4 Test requirements

Uniformity in the specified production tests of different suppliers is unnecessary. The production tests shall take into account the special design characteristics of the valve and its components, the extent to which the components are tested prior to assembly, and the particular manufacturing procedures and techniques involved. In all cases, the supplier shall submit, for approval by the purchaser, a detailed description of the test procedures proposed to meet the production test objectives.

The minimum requirements for routine tests are listed in 14.5. The order in which the tests are listed implies neither ranking of importance nor the order in which the tests should be performed.

14.5 Routine test – minimum requirements

14.5.1 Visual inspection

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

14.5.2 Connection check

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

14.5.3 Voltage-grading circuit check

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

14.5.4 Voltage withstand check

To check that the valve components can withstand the voltage corresponding to the maximum value specified for the valve.

14.5.5 Partial discharge tests

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

14.5.6 Check of auxiliaries

To check that the auxiliaries (such as monitoring and protection circuits) at each thyristor level and those common to the complete valve (or valve section) function correctly.

14.5.7 Firing check

To check that the thyristor in each thyristor level turns on correctly in response to firing signals.

14.5.8 Pressure test

To check that there are no coolant leaks (for liquid cooled valves only).

15 Method for loss determination

The procedure for loss determination of HVDC thyristor valves is specified in IEC 61803.

16 Presentation of type test results

The test report shall be issued in accordance with the general guidelines as given in ISO/IEC Guide 25, and shall include the following information:

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

Annex A (normative)

Test safety factors

A.1 General

Thyristor valves are designed to withstand the stresses they are likely to experience under specified HVDC operating conditions. To verify the valve design, dielectric and operational type tests are carried out. The type test levels include test safety factors which ensure that the tests conservatively reproduce the worst-case service stresses.

Tests and test levels can have major economic penalties, particularly when unnecessary tests or unrealistic test levels are specified without compensating benefits in valve performance. The test safety factors used in this standard have been established with the objective of reflecting realistic and practical requirements to assure an economical valve design suitable for the intended application.

Test safety factors allow for measurement uncertainties during the test and, where appropriate, a protective margin. The protective margin provides an allowance for the uncertainty in the prediction of the maximum service stress and an allowance for any reduction in the capability of the equipment with time, due to ageing.

When type tests are performed according to IEC 60060-1, measuring uncertainties amount to 3 % for measuring errors and a further 3 % for the test level tolerance.

Uncertainty in the prediction of the maximum service stresses depends on many factors and assumptions, while degradation due to ageing is material and application dependent. No universally applicable quantitative factors exist for these parameters but established practice, supported by acceptable service experience provides a basis for judgement.

A review of the standard practice for high voltage equipment, the current practices for testing of HVDC thyristor valves and the service experience, taking the special characteristics of thyristor valves into account, has resulted in appropriate values of test safety factors to be used. These are discussed in Clauses A.2 and A.3 below.

A.2 Test safety factors for dielectric tests

A.2.1 Impulse tests

A.2.1.1 Basic approach

The impulse test safety factors used in this standard are based on the following assumptions:

- a) metal oxide surge arresters are the primary impulse overvoltage protection devices, and are connected directly between the terminals of each valve to minimize impulse separation effects;
- b) all redundant thyristors are short-circuited during the tests.

The criterion for valve redundancy is that a new valve, with all of its redundant thyristors short-circuited, shall still be capable of meeting the specified type test performance. The specified performance is established from analytical studies considering the permissible operating modes and requirements.

As with other conventional power equipment, the valve costs are influenced by the type tests and associated test levels. For impulse tests, the cost of a thyristor valve is almost directly proportional to the required impulse withstand test level. In addition, the associated in-service

power losses are also almost directly proportional to the impulse test level. Recognizing the benefits in costs and losses of optimizing test levels, 8.3.3 of this standard allows the following alternatives for the impulse tests between valve terminals.

- a) Apply a test safety factor of 1,10 for lightning and switching impulse tests and a test safety factor of 1,15 for the steep front impulse test. In addition, the impulse tests are repeated with a test safety factor of 1,15 for lightning and switching impulse tests, and a test safety factor of 1,2 for the steep front impulse test with all thyristors replaced with insulating blocks.
- b) Apply a test safety factor of 1,15 for lightning and switching impulse tests and a test safety factor of 1,2 for the steep front impulse test.

Alternative b) reflects the majority practice in industry to date, and corresponds to a raising of the effective test safety margin for thyristors and associated thyristor level equipment compared with the previous edition of this standard. Alternative a) provides for a more economical design by limiting the maximum voltage to be withstood by the thyristors, while retaining the full test safety margins of alternative b) for all insulation in parallel with the thyristors.

The test safety factors adopted for both impulse test alternatives are supported by successful performance of valves presently in service, and by calculations showing that the test safety factors used give adequate margins of safety based on present industry knowledge and experience.

The selection of the impulse test alternative rests with the purchaser and will be based on the cost-benefit considerations for the specific application. Subclauses A.2.1.2 and A.2.1.3 below provide background information.

A.2.1.2 Prior practice and experience

The previous edition of this standard specified a test safety factor of 1,15 for lightning and switching impulse tests with redundant thyristor levels of up to 3 % not short-circuited. The effective test safety factor for the thyristors in valves with 3 % redundancy was therefore 1,117.

A review of the valve in-service performance records and the test safety factors used for impulse tests showed that, for the majority of projects installed world-wide, the valves have been tested with a test safety factor of 1,15 with the redundancy short-circuited. This corresponds to alternative b) in A.2.1.1 above. The service experience for these projects has been very good.

The review also showed that a significant number of projects has been supplied in which either the tests were performed with a test safety factor of 1,15 and redundancy of up to 3 % intact, or the value of the test safety factor was reduced, typically to 1,10. In one case, a test safety factor of 1,10 and intact redundancy of 3 % have been used (corresponding to an effective test safety factor for the thyristors of 1,067). The in-service performance records for these projects are also very good.

Based on in-service experience and other investigations to date, the insulation properties of thyristors do not indicate any tendency for significant ageing in service. On the other hand, industry recognizes that, in general, conventional insulating materials do age in service. Because a thyristor valve contains conventional insulating materials as well as thyristors, the effects of ageing on these materials shall be considered when establishing test safety factors. For this reason, while an alternative test safety factor of 1,10 for the thyristors can be supported, the standard shall require an impulse test on all valve components, except thyristors, at test levels corresponding to the test safety factors of 1,15 for lightning and switching impulses and 1,2 for steep front impulse. This is the basis of alternative a) in A.2.1.1 above.

A.2.1.3 Assessment of test safety factor alternatives for impulse tests

As an independent check, the chosen test safety factors were assessed for their adequacy to cover for the best estimates of the known contributing factors to the measurement uncertainty and protective margin components of the test safety factor.

The adequacy of the test safety factors was assessed by the following means.

- a) All the factors relating to measuring uncertainties and the protective margin were considered to be statistically independent.
- b) From a probability point of view, it was considered unrealistic to assume that all factors were biased in the same direction and simultaneously at their maximum values.
- c) It was assumed that the contributing factors could be combined by a root sum of squares (RSS) approach. A check was then made to ensure that the following relationship was satisfied:

$$k_s \geq 1 + \sqrt{\sum k_n^2} \quad (\text{evaluate } n = 1 \text{ to } n)$$

where

k_s is the test safety factor;

n is the number of factors;

k_n = per unit value of each n -factor (less than 1,0).

- d) The factors considered for lightning and switching impulse tests and their associated values were as follows:
 - test voltage measuring error (0,03 per IEC 60060);
 - tolerance on test voltage (0,03 per IEC 60060);
 - measurement tolerance of arrester characteristic (0,03 per IEC 60060);
 - ageing allowance for arrester (0,05 per IEC 60099);
 - study uncertainties – most onerous case (0,03) estimated;
 - allowance for non-standard waveshapes (0,03) estimated;
 - allowance for insulation ageing (0,10 alternatively 0).
- e) Using the RSS relationship of c), then, if an insulation ageing factor of 0,1 is assumed for conventional materials then:

$$1 + \sqrt{\sum k_n^2} = 1,13$$

With a test safety factor of 1,15 specified, the contingency for any unallowed factors or for errors in the allowed factors amounts to:

$$\sqrt{0,15^2 - 0,13^2} = 0,075$$

If insulation does not significantly age, as is the case for the thyristors, then:

$$1 + \sqrt{\sum k_n^2} = 1,084$$

With a test safety factor of 1,10 specified, the contingency for any unallowed factors or for errors in the allowed factors amounts to:

$$\sqrt{0,10^2 - 0,084^2} = 0,055$$

On the basis of the assumptions made, selection of alternative b) of A.2.1.1 will provide an inherent contingency margin of 7,5 % for both thyristors and other materials, and makes no presumption concerning the different ageing mechanisms for thyristors and conventional insulating materials.

Selection of alternative a) of A.2.1.1 will provide an inherent contingency margin of 7,5 % for all materials except the thyristors, and a contingency allowance of 5,5 % for the thyristors on the presumption that ageing of thyristors can be neglected.

The capital cost and operating losses of thyristor valves designed and tested to alternative a) will each be approximately 4,5 % lower than that of alternative b).

A.2.2 AC and d.c. temporary and long-term voltage tests

The durability of the valve dielectric materials cannot be demonstrated during the valve type tests. This is more appropriately carried out as part of separate design or development testing. However, the a.c and d.c. voltage type tests do demonstrate valve withstand capabilities against temporary and long-term overvoltages. The test levels and durations reflect, to a large extent, the established a.c and d.c. test philosophy and practices for conventional dielectric materials. A commonly used indication of the quality of the insulation is partial discharge performance (see Annex B). The standard therefore requires that the quality of insulation be checked during the a.c and d.c. voltage tests by measurement of partial discharges.

In the case of the short-duration valve a.c. voltage test, the test can unrealistically over-stress valve components in the reverse direction because, for practical reasons, the test shall be performed with a.c. (hence giving a large voltage-time area) but the service condition only results in a short duration at high voltage (commutation overshoot). For this reason, a lower test safety factor than normal practice is used. The test safety factor k_g is based on voltage measuring error (3 %), tolerance on test voltage (3 %), measuring tolerance of surge arrester characteristics (3 %), ageing allowance for arrester (5 %) and an inherent contingency margin, or allowance for other unknown effects (7,5 %).

A.3 Test safety factors for operational tests

The operational test safety factors apply to the combined voltage and current stresses which occur during steady-state operation, specified overloads and fault conditions. The test voltages and currents to be considered are those obtained from the most onerous steady-state operating conditions. In general, only measurement uncertainties need be considered in the test safety factors:

$$k_s = 1 + \sqrt{0,03^2 + 0,03^2} = 1,042, \text{ rounded up to } 1,05$$

For the minimum a.c. voltage tests, the corresponding test safety factor is:

$$k_s = 1 - \sqrt{0,03^2 + 0,03^2} = 0,957, \text{ rounded down to } 0,95$$

For fault current tests, no special current test safety factor is needed ($k_s = 1,0$).

This is justified on the basis that:

- a) the tests are performed with fault current amplitudes that are at least equivalent in severity to the worst case current as determined from calculations or system studies, using the coincidence of worst case factors as listed in 11.3.2 without statistical averaging;
- b) a test safety factor of 1,05 is applied to the voltage to be blocked after the fault current.

Annex B (normative)

Partial discharge measurements

B.1 Measurement of partial discharge

The quality of insulation in the valve support, between highest potential valve and earth, and between valve terminals shall be checked during the a.c. and/or d.c. voltage tests by measurement of partial discharges. Present experience in the application of HVDC valves shows that other techniques such as RIV (radio interference voltage) measurements are less indicative for the given purpose.

Partial discharge measurements shall be performed in accordance with IEC 60270.

B.2 Partial discharge during a.c. tests

The sensitivity of the partial discharge measurements for a.c. voltage depends on the capacitance of the test object and the magnitude of the background noise. In most valves, the capacitance between valve terminals is large (mainly due to the presence of the damping capacitors) compared to stray capacitance between the terminals for other equipment. Typical values for thyristor valves are in hundreds of nanofarads and for other equipment they are in the range of tens of picofarads. Consequently, special measurement techniques may be necessary to fulfil the objectives of the test.

The commonly accepted test circuits for the measurement of partial discharge on a large air-insulated apparatus will not separate the partial discharge into surrounding air (corona), which could be acceptable, from any discharges across or through non-healing insulation. Consequently, setting an absolute limit on the partial discharge value for the complete valve will not alone give a dependable result. For an air-insulated valve, partial discharge of up to 200 pC is normally of no consequence as far as discharge into the surrounding air is concerned, but is above the safe threshold for discharges in organic insulation.

For this reason, and also because the a.c. dielectric test on a complete valve or valve support does not stress all components (e.g. damping resistors, saturable reactors, etc.), it is recommended that the partial discharge measurement is performed on all critical components or subassemblies as identified by the supplier. The purpose of partial discharge measurements on a complete valve or valve support during the dielectric tests is then to verify that there are no adverse interactions between individual components or high levels of partial discharge into air. Except as noted in Clause B.4 below, the maximum value of partial discharge for a complete valve or valve support during a.c. tests shall be 200 pC, provided that the valve is air-insulated and partial discharge of the critical components is within their own individual limits as demonstrated by the component test.

B.3 Partial discharge during d.c. tests

It is noted in IEC 60270, that there is no generally accepted method for the determination of the partial discharge magnitude during tests with direct voltage.

Dielectric stresses under steady-state d.c. conditions are determined by the resistivity of the insulating material rather than by the dielectric constant. Due to the high value of the resistivity, the time constant of the system is rather long, therefore partial discharges under d.c. conditions tend to be characterized by pulses of relatively high amplitude (hundreds to thousands of pC) at low repetition rate (seconds to minutes).

For this standard, the quality of insulation during tests with direct voltage is checked by counting the number of partial discharges per unit of time that exceed specified levels. This means that, in general, test circuits and measuring instruments used with alternating voltages may also be used with direct voltages, however with the addition of a multi-level pulse counting device. The d.c. voltage test levels and durations, together with the acceptance limits for partial discharge given in this standard, are based on the following considerations:

- expected service stresses, both in normal operation and during faults;
- previous service and test experience;
- recognition that thyristor valves contain many different dielectric materials which have time constants spanning the whole range of likely values;
- recognition that tests of shorter duration with higher test safety factors will unrepresentatively overstress those valve components with short time constants;
- recognition that the magnitude of partial discharges and number per period of time when using positive polarity is normally higher than when using negative polarity;
- recognition that, following initial application of opposite polarity, a larger amount of partial discharge than that occurring during steady-state d.c. voltage stress can be expected. The value of partial discharge versus time after selection of opposite polarity should decrease.

B.4 Composite a.c. plus d.c. voltage stress

Equipment in an HVDC converter often experiences a service voltage waveshape which comprises both a.c. and d.c. components.

Due to practical difficulties and the lack of experience of partial discharge measurement with composite voltages, separate a.c. and d.c. voltage tests are specified in this standard. A consequence of this approach is that, in striving to reproduce the correct peak voltage stress, those components which are stressed in service mainly by a d.c. component, with only a small component of a.c., will be stressed during the long duration a.c. voltage test with a much higher peak-to-peak voltage excursion than will be encountered in service. Since partial discharge with a.c. voltage stress is strongly influenced by the peak-to-peak voltage swing, the specified tests will be unrealistic for those cases where the service stress is mainly d.c.

Two cases where this will occur are:

- a) across the valve support when the support is attached to another bus than the neutral d.c. busbar or lower six-pulse bridge a.c. connection potential;
- b) across any two terminals of an MVU between which there are two or more series-connected valves of the same phase.

For the two cases above, recorded values of partial discharge in excess of 200 pC, during the long duration a.c. voltage test, are not necessarily indicative of inadequate design. For this reason, if values of partial discharge in excess of 200 pC are recorded, the test results shall be evaluated by the purchaser and supplier to assess the significance, if any, that the observed values may have on the durability of the equipment in service.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	49
1 Domaine d'application	51
2 Références normatives	51
3 Termes et définitions	51
3.1 Termes relatifs à la coordination de l'isolement.....	52
3.2 Termes relatifs à la construction des valves.....	53
3.3 Termes relatifs aux essais de type	54
3.4 Termes relatifs aux essais de série	54
4 Exigences générales.....	54
4.1 Lignes directrices concernant la réalisation d'essais de type	54
4.1.1 Substitution de preuve	54
4.1.2 Objet d'essai.....	54
4.1.3 Séquence des essais	54
4.1.4 Procédures d'essai	55
4.1.5 Température ambiante pour les essais.....	55
4.1.6 Fréquence des essais	55
4.1.7 Rapports d'essai	55
4.2 Correction atmosphérique	55
4.3 Traitement de la redondance	55
4.3.1 Essais diélectriques	55
4.3.2 Essais de fonctionnement	56
4.4 Critères de réussite des essais de type	56
4.4.1 Généralités	56
4.4.2 Critères applicables aux niveaux de thyristors	56
4.4.3 Critères applicables à la valve dans son ensemble	57
5 Liste des essais de type.....	58
6 Essais diélectriques sur support de valve	58
6.1 Objectifs des essais	58
6.2 Objet d'essai	59
6.3 Exigences d'essai	59
6.3.1 Généralités	59
6.3.2 Essai de support de valve sous tension continue	59
6.3.3 Essai de support de valve sous tension alternative	60
6.3.4 Essai de support de valve sous tension de choc de manœuvre.....	60
6.3.5 Essai de support de valve sous tension de choc de foudre	60
7 Essais diélectriques pour unités de valves multiples (UVM)	61
7.1 Objectif des essais.....	61
7.2 Objet d'essai	61
7.3 Exigences d'essai	61
7.3.1 Essai d'UVM sous tension continue à la terre	61
7.3.2 Essai d'UVM sous tension alternative	62
7.3.3 Essai d'UVM sous tension de choc de manœuvre.....	63
7.3.4 Essai d'UVM sous tension de choc de foudre	63
8 Essais diélectriques entre les bornes de valve.....	64
8.1 Objectifs des essais	64
8.2 Objet d'essai	65

8.3	Exigences d'essai	65
8.3.1	Essai de valve sous tension continue	65
8.3.2	Essai de valve sous tension alternative	66
8.3.3	Essais de valve sous tension de choc (généralités)	67
8.3.4	Essai de valve sous tension de choc de manœuvre	67
8.3.5	Essai de valve sous tension de choc de foudre	68
8.3.6	Essai de valve sous tension de choc à front raide	68
8.4	Essai d'allumage non périodique de valve	69
8.4.1	Objectifs de l'essai	69
8.4.2	Objet d'essai	69
8.4.3	Exigences d'essai	69
9	Essais d'allumage et d'extinction périodiques	71
9.1	Objectifs des essais	71
9.2	Objet d'essai	71
9.3	Exigences d'essai	71
9.3.1	Généralités	71
9.3.2	Essais en service permanent maximal	72
9.3.3	Essai en service temporaire maximal ($\alpha = 90^\circ$)	74
9.3.4	Essais sous tension alternative minimale	74
9.3.5	Essai à manque de tension temporaire	76
9.3.6	Essais avec courant continu intermittent	77
10	Essais sous tension directe transitoire durant la période de rétablissement	77
10.1	Objectif des essais	77
10.2	Objet d'essai	77
10.3	Exigences d'essai	77
11	Essais de valve en courant de défaut	78
11.1	Objectif des essais	78
11.2	Objet d'essai	79
11.3	Exigences d'essai	79
11.3.1	Généralités	79
11.3.2	Essai en courant de défaut à une boucle avec réapplication de tension directe	80
11.3.3	Essai en courant de défaut à boucles multiples sans réapplication de tension directe	81
12	Essais d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques	81
12.1	Objectif des essais	81
12.2	Objet d'essai	82
12.3	Exigences d'essai	82
12.3.1	Généralités	82
12.3.2	Première approche	82
12.3.3	Deuxième approche	82
12.3.4	Critères d'acceptation	83
13	Essai de caractéristiques spéciales et tolérance aux pannes	83
13.1	Objectif des essais	83
13.1.1	Généralités	83
13.1.2	Circuits prévus pour faciliter la commande, la protection et la surveillance correctes de la valve	83
13.1.3	Caractéristiques incluses dans la valve pour permettre une tolérance aux pannes	83

13.2	Objet d'essai	84
13.3	Exigences d'essai	84
14	Essais de série	84
14.1	Généralités	84
14.2	Objectif des essais	84
14.3	Objet d'essai	84
14.4	Exigences d'essai	85
14.5	Exigences minimales des essais individuels de série	85
14.5.1	Examen visuel	85
14.5.2	Vérification de la connexion	85
14.5.3	Vérification du circuit de répartition des potentiels	85
14.5.4	Vérification de la tenue en tension.....	85
14.5.5	Essais de décharge partielle	85
14.5.6	Vérification des auxiliaires.....	85
14.5.7	Vérification de l'allumage	85
14.5.8	Essai de pression	85
15	Méthode de détermination des pertes.....	86
16	Présentation des résultats des essais de type	86
Annexe A (normative) Facteurs de sécurité d'essai.....		87
A.1	Généralités	87
A.2	Facteurs de sécurité d'essai pour essais diélectriques	87
A.2.1	Essais de tension de choc.....	87
A.2.2	Essais sous tension alternative et continue temporaire et de longue durée	90
A.3	Facteurs de sécurité d'essai pour essais de fonctionnement	91
Annexe B (normative) Mesurages de décharge partielle.....		92
B.1	Mesurage de décharge partielle.....	92
B.2	Décharge partielle au cours d'essais en courant alternatif.....	92
B.3	Décharge partielle au cours d'essais en courant continu	93
B.4	Contrainte de tension composite alternative et continue.....	93
Figure 1 – Tension d'essai de tension de choc à front raide		52
Tableau 1 – Défauts de niveaux de thyristors autorisés au cours des essais de type		57
Tableau 2 – Liste des essais de type		58

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**VALVES À THYRISTORS POUR LE TRANSPORT D'ÉNERGIE
EN COURANT CONTINU À HAUTE TENSION (CCHT) –****Partie 1: 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. À 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.

La Norme internationale IEC 60700-1 a été établie par le sous-comité 22F: Électronique 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 deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1998, son Amendement 1:2003 et son Amendement 2: 2008. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente.

- a) Les définitions des termes "niveaux de thyristors redondants", "niveau de thyristor", "section de valve" ont été modifiées dans un souci de clarification.

- b) Des notes ont été ajoutées aux exigences des essais diélectriques sur support de valve sous tension continue, UVM, spécifiant qu'avant de répéter l'essai avec la polarité opposée, l'objet d'essai peut être court-circuité et mis à la terre pendant plusieurs heures. La même procédure peut être suivie à l'issue de l'essai sous tension continue.
- c) Le Tableau 1 sur les défauts de niveaux de thyristors autorisés au cours des essais de type a été complété.
- d) La méthode alternative pour les essais diélectriques UVM a été ajoutée.
- e) Il a été spécifié que les essais de série peuvent inclure des essais individuels de série ainsi que des essais sur prélèvement.
- f) Il a été ajouté dans les exigences pour les essais d'allumage et d'extinction périodiques qu'un facteur d'échelle pour les essais doit être appliqué lors des essais sur les sections de valve.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
22F/341/CDV	22F/351A/RVC

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/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60700, publiées sous le titre général *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT)*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication 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. À cette date, la publication sera

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

VALVES À THYRISTORS POUR LE TRANSPORT D'ÉNERGIE EN COURANT CONTINU À HAUTE TENSION (CCHT) –

Partie 1: Essais électriques

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60700 s'applique aux valves à thyristors équipées de parafoudres à oxyde métallique directement connectés entre les bornes des valves, qui sont destinées à être utilisées au niveau d'un convertisseur commuté par le réseau pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension ou dans une liaison dos à dos. Elle est limitée aux essais de type électriques et de série.

Les essais spécifiés dans la présente norme sont basés sur des valves isolées par l'air. Pour d'autres types de valves, les exigences d'essai et les critères d'acceptation peuvent faire l'objet d'un accord.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60060, *Techniques des essais à haute tension*

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

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

IEC 60099 (toutes les parties), *Parafoudres*

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

IEC 61803:1999, *Détermination des pertes en puissance dans les postes de conversion en courant continu à haute tension (CCHT)*
IEC 61803:1999/AMD 1:2010¹

Guide ISO/IEC 25, *Prescriptions générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnage et d'essais*²

3 Termes et définitions

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

¹ Il existe une édition consolidée 1.1 (2011) comprenant l'IEC 61803:1999 et son Amendement 1:2010.

² Retirée.

3.1 Termes relatifs à la coordination de l'isolement

3.1.1

tension de tenue d'essai

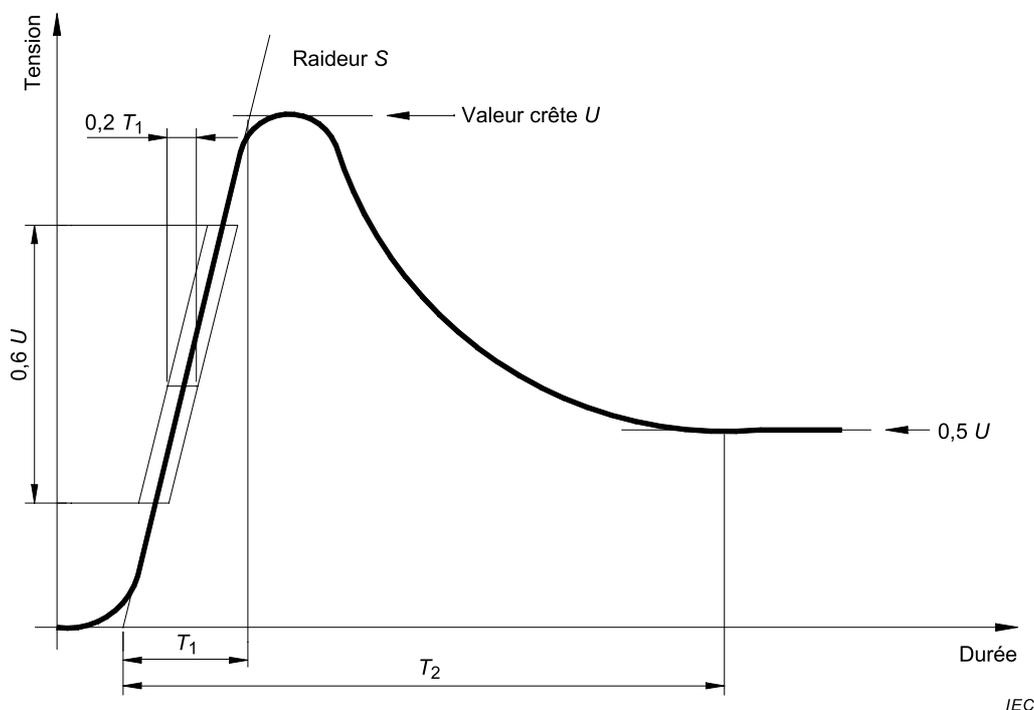
valeur d'une tension d'essai de forme d'onde normalisée pour laquelle une nouvelle valve, dont l'intégrité est intacte, ne présente aucune décharge disruptive et respecte tous les autres critères d'acceptation spécifiés pour l'essai particulier, lorsqu'elle est soumise à un nombre spécifié d'applications ou à une durée spécifiée d'application de la tension d'essai, dans les conditions spécifiées

3.1.2

tension de choc à front raide

tension de choc à front rapide dont le temps de crête est inférieur à celui d'une tension de choc de foudre type mais non inférieur à celui d'une tension à front très rapide selon la définition de l'IEC 60071-1

Note 1 à l'article: Pour la présente norme, une tension de choc à front raide est définie, dans le cadre des essais, par la Figure 1.



IEC

Légende

U valeur de crête spécifiée de la tension d'essai de tension de choc à front raide (kV)

S raideur spécifiée de la tension d'essai de tension de choc à front raide (kV/ μ s)

T_1 durée conventionnelle du front = $\frac{U}{S}$ (μ s)

Les conditions suivantes doivent être remplies:

- La valeur de crête de la tension d'essai enregistrée doit être égale à $U \pm 3\%$. Cette tolérance est identique à celle de l'IEC 60060 pour des tensions de choc de foudre normalisées.
- Pour une excursion de tension de $0,6 U$ au minimum, la portion croissante de la tension d'essai enregistrée doit être entièrement comprise entre deux lignes parallèles de raideur S et de séparation $0,2 T_1$.
- La valeur de la tension d'essai à T_2 ne doit pas être plus basse que $0,5 U$. T_2 est défini comme l'intervalle de temps entre l'origine et l'instant où la tension a diminué à la moitié de la valeur de crête de la forme d'onde obtenue de l'étude de réseau. Cependant, la détection d'un amorçage inattendu des thyristors par un du/dt doit être assurée.

Figure 1 – Tension d'essai de tension de choc à front raide

3.1.3

isolement interne et externe

air extérieur aux composants et matériaux isolants de la valve, mais contenu dans le profil de la valve ou de l'unité de valves multiples, considéré comme faisant partie du système d'isolement interne de la valve

Note 1 à l'article: L'isolement externe est constitué par l'air situé entre la surface externe de la valve ou de l'unité de valves multiples et son environnement.

3.1.4

allumage de protection de valve

moyen de protéger les thyristors contre une surtension en provoquant un allumage à une tension prédéterminée

3.2 Termes relatifs à la construction des valves

3.2.1

support de valve

partie de la valve offrant un support mécanique et une isolation électrique par rapport à la terre de la partie active de la valve abritant les sections de valve

Note 1 à l'article: Il est possible que les conceptions de valve ne présentent pas toutes une identification claire sous une forme discrète des parties de valves constituant des supports de valve.

3.2.2

structure de valve

structure physique maintenant les niveaux des thyristors d'une valve isolée à la tension appropriée au-dessus du potentiel de terre

3.2.3

niveaux de thyristors redondants

nombre maximal de niveaux de thyristors dans la valve à thyristors qui peuvent être court-circuités extérieurement ou à l'intérieur de la valve en cours de service sans influencer le fonctionnement sûr de la valve à thyristors comme le démontrent les essais de type et qui s'il était dépassé, et seulement dans ce cas, exigerait le débranchement du convertisseur pour remplacer des thyristors en défaillance ou accepter un risque augmenté de défauts

3.2.4

électronique de base de la valve

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

3.2.5

niveau de thyristor

partie d'une valve à thyristors constituée d'un thyristor ou de plusieurs thyristors montés en parallèle, ainsi que leurs composants auxiliaires et bobines d'inductance associés directement, le cas échéant

3.2.6

section de valve

assemblage électrique comportant un certain nombre de thyristors et d'autres composants et présentant les propriétés électriques préassignées d'une valve complète à échelle réduite

3.2.7

unité de valves multiples

UVM

structure physique unique comprenant plus d'une valve avec une structure de support mécanique commune

3.3 Termes relatifs aux essais de type

NOTE Essais réalisés pour vérifier que la conception d'une valve respecte les exigences spécifiées. Dans la présente norme, les essais de type sont classés en deux catégories principales: essais diélectriques et essais de fonctionnement.

3.3.1

essais diélectriques

essais réalisés pour vérifier les caractéristiques haute tension de la valve

3.3.2

essais de fonctionnement

essais réalisés pour vérifier les caractéristiques de la valve liées à l'amorçage, au désamorçage et au courant

3.4 Termes relatifs aux essais de série

NOTE Essais réalisés pour vérifier que la fabrication s'effectue correctement, de sorte que les propriétés d'une valve correspondent à celles spécifiées.

3.4.1

essais individuels de série

essais de série réalisés sur toutes les valves, sections de valve ou composants

3.4.2

essais sur prélèvement

essais de série réalisés sur un petit nombre de valves, sections de valve ou composants prélevés de façon aléatoire dans un lot

4 Exigences générales

4.1 Lignes directrices concernant la réalisation d'essais de type

4.1.1 Substitution de preuve

Chaque conception de valve doit être soumise aux essais de type spécifiés dans la présente norme. S'il est possible de démontrer que la valve est similaire à une valve précédemment soumise à essai, au lieu de réaliser un essai de type, le fournisseur peut soumettre à l'acheteur pour examen le rapport d'essai d'un essai de type précédent. Il convient de l'accompagner d'un rapport distinct détaillant les différences de conception et démontrant la manière dont l'essai de type référencé satisfait aux objectifs de l'essai pour la conception proposée.

4.1.2 Objet d'essai

Il convient que l'objet d'essai satisfasse aux exigences suivantes:

- a) Certains essais de type peuvent être réalisés soit sur une valve complète soit sur des sections de valve, comme indiqué dans le Tableau 2. Pour ces essais de type réalisés sur des sections de valve, le nombre total de sections de valve soumises à essai doit être au moins égal au nombre correspondant à une valve complète.
- b) Sauf indication contraire, les mêmes sections de valve doivent être utilisées pour tous les essais de type.
- c) Avant le début des essais de type, il convient de démontrer que la valve, les sections de valve et/ou leurs composants ont résisté aux essais de série afin d'assurer une fabrication correcte.

4.1.3 Séquence des essais

Les essais de type spécifiés peuvent être réalisés dans un ordre quelconque.

NOTE Des essais impliquant un mesurage de décharge partielle peuvent apporter un degré de fiabilité supérieur s'ils sont réalisés à la fin du programme d'essais de type diélectrique.

4.1.4 Procédures d'essai

Les essais doivent être réalisés conformément à l'IEC 60060, si elle s'applique. Il convient que la compétence des laboratoires d'essai et d'étalonnage corresponde au Guide ISO/IEC 17025.

4.1.5 Température ambiante pour les essais

Les essais doivent être réalisés à la température ambiante prédominante de l'installation d'essai, sauf spécification contraire.

4.1.6 Fréquence des essais

Les essais diélectriques en courant alternatif peuvent être réalisés soit à 50 Hz, soit à 60 Hz. Pour les essais de fonctionnement, des exigences spécifiques concernant la fréquence d'essai figurent dans les articles correspondants.

4.1.7 Rapports d'essai

À l'issue des essais de type, le fournisseur doit produire des rapports d'essai de type conformes à l'Article 16.

4.2 Correction atmosphérique

Lorsque l'article correspondant le spécifie, une correction atmosphérique doit être appliquée aux tensions d'essai conformément à l'IEC 60060-1. Les conditions de référence auxquelles les corrections doivent être apportées sont les suivantes.

– Pression:

- a) Si la coordination de l'isolement de la partie soumise à essai de la valve à thyristors est fondée sur les tensions de tenue assignées normalisées conformes à l'IEC 60071-1, les facteurs de correction sont uniquement appliqués pour des altitudes supérieures à 1 000 m. Ainsi, si l'altitude du site a_s sur lequel est installé le matériel est $\leq 1\,000$ m, la pression d'air atmosphérique normalisée ($b_0 = 101,3$ kPa) doit alors être utilisée sans correction de l'altitude. Si $a_s > 1\,000$ m, la procédure normalisée conforme à l'IEC 60060-1 est utilisée, mais la pression atmosphérique de référence b_0 est remplacée par la pression atmosphérique correspondant à une altitude de 1 000 m ($b_{1\,000\text{ m}}$);
- b) Si la coordination de l'isolement de la partie soumise à essai de la valve à thyristors n'est pas fondée sur les tensions de tenue assignées normalisées conformes à l'IEC 60071-1, la procédure normalisée conforme à l'IEC 60060-1 est alors utilisée avec la pression atmosphérique de référence b_0 ($b_0 = 101,3$ kPa);

– température: température de l'air maximale de conception de la salle des valves ($^{\circ}\text{C}$);

– humidité: humidité absolue minimale de conception de la salle des valves (g/m^3).

Les valeurs à utiliser doivent être spécifiées par le fournisseur.

4.3 Traitement de la redondance

4.3.1 Essais diélectriques

Pour tous les essais diélectriques entre les bornes de valves, les niveaux de thyristors redondants doivent être court-circuités, à l'exception éventuellement de l'essai d'allumage non périodique de valve (voir 8.4). L'emplacement des niveaux de thyristors à court-circuiter doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur.

NOTE En fonction de la conception, des limites peuvent être imposées au niveau de la répartition des niveaux de thyristors court-circuités. Par exemple, il peut exister une limite supérieure relative au nombre de niveaux de thyristors court-circuités dans une seule section de valve.

4.3.2 Essais de fonctionnement

Pour les essais de fonctionnement, les niveaux de thyristors redondants ne doivent pas être court-circuités. Les tensions d'essai utilisées doivent être ajustées au moyen d'un facteur d'échelle k_n , tel que

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

où

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

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

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

4.4 Critères de réussite des essais de type

4.4.1 Généralités

Même si le plus grand soin est apporté à la conception des valves, l'expérience industrielle montre qu'il est impossible d'éviter des défaillances aléatoires occasionnelles des composants de niveaux de thyristors pendant l'exploitation. Même si ces défaillances peuvent être liées à des contraintes, elles sont considérées comme aléatoires dans la mesure où leur cause ou la relation entre le taux de défaillance et la contrainte n'est pas prévisible ou ne peut être quantifiée de manière précise. Les essais de type soumettent, dans un délai très court, les valves ou sections de valve à plusieurs contraintes correspondant généralement aux pires contraintes auxquelles peut parfois être soumis le matériel pendant la durée de vie de la valve. De ce fait, les critères de réussite des essais de type définis ci-dessous n'autorisent qu'un nombre réduit de défaillances des niveaux de thyristors au cours des essais de type, à condition que ces défaillances soient rares et ne soient pas le révélateur d'une conception inappropriée.

4.4.2 Critères applicables aux niveaux de thyristors

Les critères suivants sont applicables aux niveaux de thyristors:

- a) Si, à la suite d'un essai de type répertorié dans l'Article 5, plusieurs niveaux de thyristors (ou plus de 1 % des niveaux de thyristors connectés en série dans une valve complète, si cette valeur est supérieure) ont été court-circuités, la valve doit alors être considérée comme n'ayant pas satisfait aux essais de type.
- b) Si, à la suite d'un essai de type, un niveau de thyristor (ou plus si la valeur s'inscrit dans une limite de 1 %) a été court-circuité, le ou les niveaux défaillants doivent alors être rétablis et cet essai de type répété.
- c) Si le nombre cumulé de niveaux de thyristors court-circuités au cours de tous les essais de type dépasse 3 % des niveaux de thyristors connectés en série dans une valve complète, la valve doit alors être considérée comme n'ayant pas satisfait au programme d'essais de type.
- d) Lorsque des essais de type sont réalisés sur des sections de valve, les critères d'acceptation ci-dessus s'appliquent également car le nombre de sections de valve soumises à essai ne doit pas être inférieur au nombre de sections comprises dans une valve complète (voir 4.1.2 a)).
- e) La valve ou les sections de valve doivent être vérifiées après chaque essai de type afin de déterminer si des niveaux de thyristors ont été court-circuités. Avant de poursuivre les essais, les thyristors ou composants auxiliaires qui se sont révélés défaillants au cours ou à la fin d'un essai de type peuvent être remplacés.

- f) À l'issue du programme d'essais, la valve ou les sections de valve doivent faire l'objet d'une série d'essais de vérification, qui doivent inclure au minimum:
- la vérification de la tenue en tension des niveaux de thyristors à la fois dans le sens direct et dans le sens inverse;
 - la vérification des circuits de déclenchement le cas échéant;
 - la vérification des circuits de surveillance;
 - la vérification des circuits de protection des niveaux de thyristors par application de tensions transitoires supérieures et inférieures au(x) réglage(s) de protection le cas échéant;
 - la vérification des circuits de répartition des potentiels.
- g) Les courts-circuits des niveaux de thyristors survenant au cours des essais de vérification doivent être décomptés en tant que partie des critères d'acceptation définis ci-dessus. Outre les niveaux court-circuités, le nombre total de niveaux de thyristors présentant des défauts n'occasionnant pas de court-circuit de niveaux de thyristors, qui sont découverts au cours du programme d'essais de type et des essais de vérification ultérieurs, ne doit pas dépasser 3 % du nombre de niveaux de thyristors connectés en série dans une valve complète. Si le nombre total de ces niveaux dépasse 3 %, la nature des défauts et leur cause doivent alors être revues et une action supplémentaire, s'il y a lieu, doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur.
- h) Lorsque les critères de pourcentage sont appliqués pour déterminer le nombre maximum autorisé de niveaux de thyristors court-circuités ainsi que le nombre maximum autorisé de niveaux avec des défauts n'ayant pas occasionné de court-circuit de niveaux de thyristors, il est courant d'arrondir toutes les fractions au nombre entier supérieur, comme représenté au Tableau 1.

Tableau 1 – Défauts de niveaux de thyristors autorisés au cours des essais de type

Nombre de niveaux de thyristors dans une valve complète moins le nombre de niveaux redondants ($N_t - N_r$)	Nombre de niveaux de thyristors qu'il est permis de court-circuiter dans un essai de type quelconque	Nombre total de niveaux de thyristors qu'il est permis de court-circuiter dans tous les essais de type	Nombre supplémentaire de niveaux de thyristors, dans tous les essais de type, ayant fait l'objet d'un défaut mais n'ayant pas été court-circuités
Jusqu'à 33	1	1	1
34 à 67	1	2	2
68 à 100	1	3	3
101 à 133	2	4	4
etc.			

La répartition des niveaux court-circuités et d'autres défauts de niveaux de thyristors à l'issue de tous les essais de type doit être essentiellement aléatoire et ne doit présenter aucun signe indiquant une conception inappropriée.

4.4.3 Critères applicables à la valve dans son ensemble

Le claquage ou un contournement externe sur un matériel électrique commun associé à plusieurs niveaux de thyristors de la valve, ou une décharge disruptive dans le matériau diélectrique faisant partie de la structure de la valve, des conduits de refroidissement, des conduits de lumière, ou d'autres parties isolantes du système de transmission et de répartition des impulsions ne doit pas être autorisé.

Les températures de surface des composants et des conducteurs, ainsi que les jonctions et connexions associées acheminant du courant, et la température des surfaces de montage adjacentes doivent toujours rester dans les limites autorisées par la conception.

5 Liste des essais de type

Le Tableau 2 ci-dessous donne la liste des essais de type présentés dans les Articles 6 à 13.

Tableau 2 – Liste des essais de type

Essai de type	Article ou paragraphe	Objet d'essai
Essai de support de valve sous tension continue	6.3.2	Support de valve
Essai de support de valve sous tension alternative	6.3.3	Support de valve
Essai de support de valve sous tension de choc de manœuvre	6.3.4	Support de valve
Essai de support de valve sous tension de choc de foudre	6.3.5	Support de valve
Essai d'UVM sous tension continue à la terre	7.3.1	UVM
Essai d'UVM sous tension alternative	7.3.2	UVM
Essai d'UVM sous tension de choc de manœuvre	7.3.3	UVM
Essai d'UVM sous tension de choc de foudre	7.3.4	UVM
Essai de valve sous tension continue	8.3.1	Valve
Essai de valve sous tension alternative	8.3.2	Valve
Essai de valve sous tension de choc de manœuvre	8.3.4	Valve
Essai de valve sous tension de choc de foudre	8.3.5	Valve
Essai de valve sous tension de choc à front raide	8.3.6	Valve
Essai d'allumage non périodique de valve	8.4	Valve
Essais en service permanent maximal	9.3.2	Valve ou section de valve
Essai en service temporaire maximal ($\alpha = 90^\circ$)	9.3.3	Valve ou section de valve
Essais sous tension alternative minimale	9.3.4	Valve ou section de valve
Essai à manque de tension temporaire	9.3.5	Valve ou section de valve
Essais avec courant continu intermittent	9.3.6	Valve ou section de valve
Essais sous tension directe transitoire durant la période de rétablissement	10	Valve ou section de valve
Essai en courant de défaut à une boucle avec réapplication de tension directe	11.3.2	Valve ou section de valve
Essai en courant de défaut à boucle multiple sans réapplication de tension directe	11.3.3	Valve ou section de valve
Essais d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques	12	Valve ou section de valve
Essais de caractéristiques spéciales et tolérance aux pannes	13	Valve ou section de valve

6 Essais diélectriques sur support de valve

6.1 Objectifs des essais

Les principaux objectifs de ces essais sont de vérifier:

- a) la capacité de tenue en tension au niveau de l'isolation du support de valve, des conduits de refroidissement, des conduits de lumière et d'autres composants isolants associés au support de valve. S'il existe une isolation à la terre autre que le support de valve, des essais supplémentaires peuvent alors être nécessaires.
- b) que les tensions d'allumage et d'extinction des décharges partielles sont supérieures à la tension de fonctionnement maximale présente sur le support de valve.

NOTE Selon l'application, il est possible d'éliminer certains des essais réalisés sur le support de valve, après accord entre l'acheteur et le fournisseur.

6.2 Objet d'essai

Le support de valve à utiliser pour les essais peut être un objet représentatif distinct comprenant une représentation des parties adjacentes de la valve, ou il peut faire partie de l'assemblage utilisé pour les essais de valve unique ou d'unité de valves multiples. Il doit être assemblé avec tous les composants auxiliaires en place et les surfaces au potentiel de terre adjacentes doivent être correctement représentées. Pour les besoins de l'essai, le fluide de refroidissement doit être dans un état représentatif des conditions de service les plus pénalisantes.

6.3 Exigences d'essai

6.3.1 Généralités

Tous les niveaux d'essai indiqués ci-dessous sont soumis à une correction atmosphérique selon la description donnée en 4.2.

6.3.2 Essai de support de valve sous tension continue

Les deux bornes principales de la valve ou de l'UVM doivent être connectées entre elles et la tension continue appliquée alors entre les deux bornes principales ainsi connectées et la terre. À partir d'une tension égale au maximum à 50 % de la tension d'essai maximale, la tension doit être élevée à la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 1 min, en 10 s environ, être maintenue constante pendant 1 min, réduite à la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 3 h, maintenue constante pendant 3 h, puis réduite à zéro. Durant la dernière heure de l'essai de 3 h spécifié, le nombre de décharges partielles dépassant 300 pC doit être enregistré comme décrit à l'Annexe B.

Le nombre d'impulsions supérieures à 300 pC ne doit pas dépasser 15 impulsions par minute, selon une moyenne établie sur l'ensemble de la période d'enregistrement. Parmi celles-ci, pas plus de sept impulsions par minute ne doivent dépasser 500 pC, pas plus de trois impulsions par minute ne doivent dépasser 1000 pC, et pas plus d'une impulsion par minute ne doit dépasser 2000 pC.

NOTE 1 Si une tendance croissante est observée au niveau de l'amplitude ou du taux de décharge partielle, la durée de l'essai peut être prolongée après accord mutuel entre l'acheteur et le fournisseur.

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

NOTE 2 Avant de répéter l'essai en polarité opposée, le support de valve peut être court-circuité et mis à la terre pendant plusieurs heures. Cette procédure peut être répétée à la fin de l'essai sous tension continue.

La tension d'essai continue du support de valve U_{tds} doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tds} = \pm U_{dmS} \times k_1 \times k_t$$

où

U_{dmS} est la valeur maximale de la composante continue de la tension de fonctionnement en régime permanent au niveau du support de valve;

k_1 est le facteur de sécurité d'essai; égal à 1,6 pour l'essai de 1 min et à 1,3 pour l'essai de 3 h;

k_t est le facteur de correction atmosphérique; égal à la valeur selon 4.2 pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min et à 1,0 pour l'essai de maintien de la tension pendant 3 h.

6.3.3 Essai de support de valve sous tension alternative

Pour réaliser l'essai, les deux bornes principales de la valve ou de l'UVM doivent être connectées entre elles et la tension d'essai alternative appliquée alors entre les deux bornes principales ainsi connectées et la terre. À partir d'une tension égale au maximum à 50 % de la tension d'essai maximale, la tension doit être élevée à la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 1 min U_{tas1} , en 10 s environ, être maintenue constante pendant 1 min, réduite à la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 30 min U_{tas2} , maintenue constante pendant 30 min, puis réduite à zéro. Pendant la dernière minute de l'essai de 30 min spécifié, le niveau de décharge partielle doit être contrôlé et enregistré. Si la valeur de décharge partielle est inférieure à 200 pC, la conception peut être acceptée sans condition. Si la valeur de décharge partielle dépasse 200 pC, les résultats d'essai doivent être évalués (voir Article B.4).

La valeur efficace de la tension d'essai alternative du support de valve, U_{tas} , doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tas} = \frac{U_{ms}}{\sqrt{2}} \times k_2 \times k_t \times k_r$$

où

U_{ms} est la valeur de crête de la tension de fonctionnement répétitive maximale au niveau du support de valve durant le fonctionnement en régime permanent, y compris le dépassement de commutation;

U_{tas1} est la tension d'essai de 1 min;

U_{tas2} est la tension d'essai de 30 min;

k_2 est le facteur de sécurité d'essai; égal à 1,3 pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min et à 1,15 pour l'essai de maintien de la tension pendant 30 min;

k_t est le facteur de correction atmosphérique, égal à la valeur selon 4.2 pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min et à 1,0 pour l'essai de maintien de la tension pendant 30 min;

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

6.3.4 Essai de support de valve sous tension de choc de manœuvre

L'essai doit comprendre trois applications de tensions de choc de manœuvre de polarité positive et trois applications de tensions de choc de manœuvre de polarité négative entre les bornes principales communes et la terre.

Une forme d'onde de choc de manœuvre normalisée, conforme à l'IEC 60060, doit être utilisée.

La tension d'essai doit être choisie conformément à la coordination de l'isolement du poste CCHT.

6.3.5 Essai de support de valve sous tension de choc de foudre

L'essai doit comprendre trois applications de tensions de choc de foudre de polarité positive et trois applications de tensions de choc de foudre de polarité négative entre les bornes principales communes et la terre.

Une forme d'onde de choc de foudre normalisée, conforme à l'IEC 60060, doit être utilisée.

La tension d'essai doit être choisie conformément à la coordination de l'isolement du poste CCHT.

NOTE Si de nouveaux matériaux isolants sans expérimentation en service probante sont utilisés, la réalisation d'un essai de tension de choc à front raide supplémentaire est envisagée.

7 Essais diélectriques pour unités de valves multiples (UVM)

7.1 Objectif des essais

Les principaux objectifs de ces essais sont de vérifier:

- a) la capacité de tenue en tension au niveau de l'isolation externe de l'UVM, par rapport à son environnement, en particulier pour la valve/l'UVM connectée au potentiel du pôle;
- b) la capacité de tenue en tension entre des valves uniques dans une structure UVM;
- c) que les niveaux de décharge partielle se situent dans les limites spécifiées.

NOTE Selon l'application, il peut être possible d'éliminer certains des essais réalisés sur l'UMV, après accord entre l'acheteur et le fournisseur.

7.2 Objet d'essai

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

Des valves individuelles peuvent devoir être court-circuitées en fonction de la configuration de l'UVM et des objectifs de l'essai. À titre d'exemple, pour la disposition la plus courante de quatre valves identiques, empilées verticalement (valve quadruple), il convient de court-circuiter une valve dans la position provoquant les conditions les plus défavorables.

Lorsque la borne à basse tension de l'UVM n'est pas connectée au potentiel neutre en courant continu, des précautions doivent être prises afin d'effectuer une terminaison convenable de la borne à basse tension de l'UVM au cours des essais pour simuler correctement la tension existant au niveau de cette borne. Des plans de masse, dont la séparation doit être déterminée en fonction de la proximité d'autres valves ou UVM et des surfaces au potentiel de terre, doivent être utilisés.

NOTE Lorsque la borne à basse tension de l'UVM n'est pas connectée au potentiel neutre en courant continu, la méthode d'essai suivante peut être utilisée en variante sous réserve que la capacité de tenue en tension entre les parties internes d'une UVM soit vérifiée de manière adéquate pendant d'autres essais (par exemple les essais entre les bornes de valve) et que la borne à basse tension de l'UMV soit capable de résister à la contrainte de tension accrue. Dans ce cas, les essais diélectriques d'UVM peuvent être réalisés sur une UVM court-circuitée.

La tension d'essai est appliquée entre l'UVM avec sa borne court-circuitée et la terre.

7.3 Exigences d'essai

7.3.1 Essai d'UVM sous tension continue à la terre

La tension d'essai continue doit être appliquée entre la borne à courant continu de potentiel le plus élevé de l'UVM et la terre.

À partir d'une tension égale au maximum à 50 % de la tension d'essai maximale, la tension doit être élevée à la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 1 min, en 10 s environ, être maintenue constante pendant 1 min, réduite à la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 3 h, maintenue constante pendant 3 h, puis réduite à zéro.

Durant la dernière heure de l'essai de 3 h spécifié, le nombre de décharges partielles dépassant 300 pC doit être enregistré selon la description de l'Annexe B.

Le nombre d'impulsions supérieures à 300 pC ne doit pas dépasser 15 impulsions par minute, selon une moyenne établie sur l'ensemble de la période d'enregistrement. Parmi celles-ci, pas plus de sept impulsions par minute ne doivent dépasser 500 pC, pas plus de trois impulsions par minute ne doivent dépasser 1 000 pC et pas plus d'une impulsion par minute ne doit dépasser 2 000 pC.

NOTE 1 Si une tendance croissante est observée au niveau de l'amplitude ou du taux de décharge partielle, la durée de l'essai peut être prolongée après accord mutuel entre l'acheteur et le fournisseur.

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

NOTE 2 Avant de répéter l'essai en polarité opposée, l'UVM peut être court-circuitée et mise à la terre pendant plusieurs heures. Cette procédure peut être répétée à la fin de l'essai de courant continu.

La tension d'essai continue de l'UVM, U_{tdm} , doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tdm} = \pm U_{dmm} k_3 \times k_t$$

où

U_{dmm} est la valeur maximale de la composante de courant continu de la tension de fonctionnement en régime permanent apparaissant entre la borne à haute tension de l'UVM et la terre;

k_3 est le facteur de sécurité d'essai;

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

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

k_t est le facteur de correction atmosphérique;

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

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

7.3.2 Essai d'UVM sous tension alternative

Si une UVM subit des contraintes de tension alternative ou composite alternative et continue entre deux bornes quelconques, dont la capacité de tenue n'est pas démontrée de façon adéquate par d'autres essais, il sera nécessaire de réaliser un essai sous tension alternative entre les bornes concernées de l'UVM.

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

À partir d'une tension égale au maximum à 50 % de la tension d'essai de 1 min, la tension doit être élevée à la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 1 min en environ 10 s, maintenue constante pendant 1 min, réduite à la valeur à maintenir pendant 30 min, maintenue constante pendant 30 min, puis réduite à zéro.

Pendant la dernière minute de l'essai de 30 min spécifié, le niveau de décharge partielle doit être contrôlé et enregistré. Si la valeur de décharge partielle est inférieure à 200 pC, la conception peut être acceptée sans condition. Si la valeur de décharge partielle dépasse 200 pC, les résultats d'essai doivent être évalués (voir Article B.4).

La valeur efficace de la tension d'essai alternative de l'UVM, U_{tam} , doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tam} = \frac{U_{mm}}{\sqrt{2}} \times k_4 \times k_r \times k_t$$

où

- U_{mm} est la valeur de crête de la tension de fonctionnement répétitive maximale apparaissant entre les bornes de l'UVM lors d'un fonctionnement en régime permanent, y compris le dépassement de commutation;
- k_4 est le facteur de sécurité d'essai;
- $k_4 = 1,3$ pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;
- $k_4 = 1,15$ pour l'essai de maintien de la tension pendant 30 min;
- k_r est le facteur de surtension temporaire;
- k_r est la valeur déterminée à partir d'études du système pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;
- $k_r = 1,0$ pour l'essai de maintien de la tension pendant 30 min;
- k_t est le facteur de correction atmosphérique;
- k_t est la valeur selon 4.2 pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;
- $k_t = 1,0$ pour l'essai de maintien de la tension pendant 30 min;

7.3.3 Essai d'UVM sous tension de choc de manœuvre

Une forme d'onde de choc de manœuvre normalisée conforme à l'IEC 60060 doit être utilisée.

La tension de choc de manœuvre de l'UVM doit être appliquée entre la borne à haute tension de l'UVM et la terre.

L'essai doit comprendre trois applications de tension de choc de manœuvre de polarité positive et trois applications de tensions de choc de manœuvre de polarité négative d'amplitude spécifiée.

La tension de choc de manœuvre de l'UVM, U_{tsm} , doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tsm} = SIPL_m \times k_5 \times k_t$$

où

$SIPL_m$ est le niveau de protection aux surtensions de manœuvre déterminé par la coordination de l'isolement en tenant compte du ou des parafoudres connectés entre la borne à haute tension de l'UVM et la terre;

- k_5 est le facteur de sécurité d'essai;
- $k_5 = 1,15$;
- k_t est le facteur de correction atmosphérique;
- k_t est la valeur selon 4.2.

Si l'essai spécifié ci-dessus ne vérifie pas de manière adéquate la tenue aux chocs de manœuvre entre toutes les bornes de l'UVM, la réalisation d'essais supplémentaires doit être envisagée pour vérifier l'isolement.

NOTE L'essai de l'UVM sous tension de choc de manœuvre peut ne pas être réalisé, après accord entre l'acheteur et le fournisseur, s'il est possible de démontrer par d'autres moyens que:

- les distances d'isolement externes dans l'air par rapport à d'autres valves et par rapport à la terre sont adaptées pour le niveau de tenue en tension de choc de manœuvre exigé, et
- la tenue aux chocs de manœuvre entre deux bornes quelconques de l'UVM est correctement démontrée par d'autres essais.

7.3.4 Essai d'UVM sous tension de choc de foudre

Une forme d'onde de tension de choc de foudre normalisée conforme à l'IEC 60060 doit être utilisée.

La tension d'essai de choc de foudre de l'UVM doit être appliquée entre la borne à haute tension de l'UVM et la terre.

L'essai doit comprendre trois applications de tensions de choc de foudre de polarité positive et trois applications de tensions de choc de foudre de polarité négative d'amplitude spécifiée.

La tension d'essai de choc de foudre de l'UVM U_{tlim} doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tlim} = \pm LIPL_m \times k_6 \times k_t$$

où

$LIPL_m$ est le niveau de protection aux surtensions de foudre déterminé par la coordination de l'isolement en tenant compte du ou des parafoudres connectés entre la borne à haute tension de l'UVM et la terre;

k_6 est le facteur de sécurité d'essai;

$k_6 = 1,15$;

k_t est le facteur de correction atmosphérique;

k_t est la valeur selon 4.2.

S'il n'est pas possible de démontrer que l'essai spécifié ci-dessus vérifie de manière adéquate la tension de tenue au choc de foudre entre toutes les bornes de l'UVM, la réalisation d'essais supplémentaires doit être envisagée pour vérifier cet isolement.

NOTE 1 L'essai de l'UVM sous tension de choc de foudre peut être réalisé, après accord entre l'acheteur et le fournisseur, s'il est possible de démontrer par d'autres moyens que:

- a) les distances d'isolement externes dans l'air par rapport à d'autres valves et par rapport à la terre sont adaptées pour le niveau de tenue en tension au choc de foudre exigé, et
- b) la tension de tenue au choc de foudre entre deux bornes quelconques de l'UVM est correctement démontrée par d'autres essais.

NOTE 2 Dans certaines circonstances, un essai de tension de choc à front raide distinct est envisagé afin de compléter l'essai de tension de choc à front raide de la valve (voir 8.3.6).

8 Essais diélectriques entre les bornes de valve

8.1 Objectifs des essais

Ces essais sont destinés à vérifier la conception de la valve en fonction de ses caractéristiques liées à la tension pour différents types de surtensions (surtensions en courant continu, alternatif, de choc de manœuvre, de choc de foudre et à front raide). Il convient que les essais démontrent les points suivants:

- a) la valve résiste aux surtensions spécifiées;
- b) tous les circuits de protection contre les surtensions internes sont efficaces;
- c) les décharges partielles s'inscrivent dans les limites spécifiées dans les conditions d'essai spécifiées;
- d) les circuits internes de répartition en courant continu présentent une puissance assignée suffisante;
- e) les circuits électroniques de la valve ne sont pas sensibles aux interférences et fonctionnent correctement;
- f) la valve peut sans dommages être allumée à partir de conditions de surtension élevée spécifiées.

Il convient de noter que les essais décrits dans le présent article sont basés sur des formes d'ondes et des procédures d'essai normalisées mises au point pour l'essai de réseaux et composants à courant alternatif à haute tension. Cette approche offre de grands avantages pour l'industrie car elle permet d'appliquer une grande partie de la technologie existante en

matière d'essais à haute tension à la qualification des valves CCHT. D'autre part, il doit être admis qu'une application CCHT particulière peut engendrer des formes d'ondes différentes des formes d'ondes normalisées et que, dans ce cas, l'essai peut être modifié afin de refléter de façon réaliste les conditions attendues.

8.2 Objet d'essai

L'objet d'essai doit être une valve complète qui doit être assemblée avec tous les composants auxiliaires à l'exception du parafoudre de la valve. La valve peut faire partie d'une unité de valves multiples. Pour tous les essais de tension de choc, l'électronique de valve doit être alimentée sauf spécification contraire. Pour les essais sous tension alternative et continue, il n'est pas nécessaire d'alimenter l'électronique de valve.

Le fluide de refroidissement doit être dans un état représentant les conditions de service, à l'exception du débit qui peut être réduit. Si un objet, extérieur à la structure, est nécessaire pour représenter correctement les contraintes au cours de l'essai, il doit être inclus ou simulé dans l'essai. Des plans de masse, dont la séparation doit être déterminée en fonction de la proximité d'autres valves adjacentes et de surfaces au potentiel de terre, doivent être utilisés.

L'objet d'essai utilisé pour les essais diélectriques de valve ne permet normalement pas l'application d'une correction atmosphérique aux tensions d'essai spécifiées sans soumettre les thyristors ou autres composants internes à des contraintes excessives. Pour cette raison, aucun facteur de correction atmosphérique n'est appliqué aux essais diélectriques entre les bornes de valve. Le fournisseur doit démontrer que les effets des conditions atmosphériques sur la tenue interne de la valve ont été correctement pris en compte. Des essais séparés permettant de vérifier cette capacité peuvent être réalisés au cas par cas.

8.3 Exigences d'essai

8.3.1 Essai de valve sous tension continue

La source de tension d'essai continue doit être connectée de sorte que la tension soit appliquée entre une des bornes principales de la valve et la terre, l'autre borne principale de la valve étant reliée à la terre.

À partir d'une tension égale au maximum à 50 % de la tension d'essai maximale, la tension doit être élevée au niveau d'essai spécifié de 1 min, en 10 s environ, être maintenue constante pendant 1 min, réduite à la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 3 h, maintenue constante pendant 3 h, puis réduite à zéro. Durant la dernière heure de l'essai de 3 h spécifié, le nombre de décharges partielles dépassant 300 pC doit être enregistré selon la description de l'Annexe B.

Le nombre d'impulsions supérieures à 300 pC ne doit pas dépasser 15 impulsions par minute, selon une moyenne établie sur l'ensemble de la période d'enregistrement. Parmi celles-ci, pas plus de sept impulsions par minute ne doivent dépasser 500 pC, pas plus de trois impulsions par minute ne doivent dépasser 1 000 pC et pas plus d'une impulsion par minute ne doit dépasser 2 000 pC.

NOTE 1 Si une tendance croissante est observée au niveau de l'amplitude ou du taux de décharge partielle, la durée de l'essai peut être prolongée après accord mutuel entre l'acheteur et le fournisseur.

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

NOTE 2 Avant de répéter l'essai en polarité opposée, les bornes de la valve peuvent être court-circuitées et mises à la terre pendant plusieurs heures. Cette procédure peut être répétée à la fin de l'essai sous tension continue.

La tension d'essai continue de l'UVM, U_{tdv} doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tdv} = \pm U_{dn} \pm k_7$$

où

U_{dn} est la tension de pont à six impulsions assignée;

k_7 est le facteur de sécurité d'essai;

$k_7 = 1,6$ pour l'essai de maintien de la tension pendant 1 min;

$k_7 = 0,8$ pour l'essai de maintien de la tension pendant 3 h.

8.3.2 Essai de valve sous tension alternative

Pour réaliser l'essai, la ou les sources de tension d'essai doivent être connectées aux bornes de valve. Le point de connexion à la terre dépend de la disposition du circuit d'essai. À partir d'une tension égale au maximum à 50 % de la tension d'essai maximale, la tension doit être élevée à la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 15 s en 10 s environ, être maintenue constante pendant 15 s, réduite à la tension d'essai spécifiée à maintenir pendant 30 min, maintenue constante pendant 30 min, puis réduite à zéro. Pendant la dernière minute de l'essai de 30 min spécifié, le niveau de décharge partielle doit être contrôlé et enregistré. La valeur de décharge partielle ne doit pas dépasser 200 pC (voir l'Annexe B).

La tension d'essai de 15 s de la valve, U_{tav1} , doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tav1r} = \sqrt{2} U_{v0max} \times k_r \times k_c \times k_8$$

et

$$U_{tav1d} = \sqrt{2} U_{v0max} \times k_r \times k_8$$

où

U_{tav1r} est la valeur de crête de la tension d'essai de 15 s exigée dans le sens inverse;

U_{tav1d} est la valeur de crête de la tension d'essai de 15 s exigée dans le sens direct;

U_{v0max} est la tension maximale à vide entre phases en régime permanent côté valve du transformateur;

k_r est le facteur de surtension temporaire;

k_r est la valeur déterminée à partir d'études du système;

k_c est le facteur de dépassement de commutation en sens inverse, calculé pour un rétablissement à la crête de la surtension d'affaiblissement de charge ($\alpha = 90^\circ$) incluant l'augmentation provoquée par la charge de rétablissement inverse des thyristors. k_c doit tenir compte de l'effet limitatif du parafoudre de valve connecté en parallèle;

k_8 est le facteur de sécurité d'essai;

$k_8 = 1,10$.

NOTE La valeur de U_{tav1r} étant supérieure ou égale à U_{tav1d} , l'essai de 15 s peut être réalisé soit avec une tension d'essai alternative symétrique de valeur efficace égale à $U_{tav1r}/\sqrt{2}$ soit avec une tension d'essai combinée alternative et continue satisfaisant aux deux exigences.

La valeur efficace de la tension d'essai de 30 min U_{tav2} doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tav2} = \frac{U_{ppv}}{2\sqrt{2}} \times k_9 \text{ où}$$

U_{ppv} est la valeur maximale de la tension de fonctionnement de crête à crête en régime permanent apparaissant au niveau de la valve, comprenant le dépassement de commutation;

k_9 est le facteur de sécurité d'essai;

$k_9 = 1,15$.

Quand U_{tav2} dépasse la valeur efficace maximale de la tension de fonctionnement au niveau de la valve, U_{vrms} , de plus de 15 %, la procédure d'essai alternative suivante peut être appliquée:

Appliquer la tension d'essai U_{tav1} pendant 15 s, ensuite U_{tav2} pendant 10 min. La valeur de décharge partielle ne doit pas dépasser 200 pC pendant la dernière minute de l'essai de 10 min.

À la fin de l'essai de 10 min, réduire la tension d'essai jusqu'à U_{tav3} et la maintenir à ce niveau pendant 30 min, où:

$$U_{tav3} = k_9 \times U_{vrms}$$

où

U_{vrms} est la valeur efficace maximale de la tension au niveau de la valve dans les conditions de fonctionnement permanent les plus sévères.

8.3.3 Essais de valve sous tension de choc (généralités)

Il convient que les essais de valve sous tension de choc satisfassent aux exigences suivantes:

- a) La présente norme permet de choisir entre deux programmes d'essais de valve sous tension de choc en fonction des considérations économiques liées à l'application.

Dans le premier cas, le facteur de sécurité d'essai pour les essais sous tension de choc de foudre et de manœuvre est de 1,1 et pour les essais de tension de choc à front raide de 1,15 en présence des thyristors, plus 1,15 et 1,2 respectivement lorsque les thyristors sont remplacés par des blocs isolants.

Dans le second cas, le facteur de sécurité d'essai est de 1,15 pour les essais sous tension de choc de foudre et de manœuvre et de 1,2 pour les essais de tension de choc à front raide, en présence des thyristors.

L'annexe A fournit de plus amples informations.

- b) Si la valve utilise un allumage de protection, les tensions d'essai de choc appliquées dans le sens direct ne sont que des tensions présumées. Il doit être démontré que tous les circuits d'allumage de protection se comportent comme prévu.
- c) Sauf spécification contraire, l'électronique de valve doit être alimentée.
- d) Il doit être démontré que la tension au niveau de la valve lors du déclenchement de l'impulsion satisfait à la relation suivante:

$$-0,01 \times V_{DSM} \times (N_t - N_r) \leq \text{tension de la valve} \leq +0,01 \times V_{DSM} \times (N_t - N_r)$$

où

V_{DSM} est la tension assignée de choc directe de crête non répétitive des thyristors;

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

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

- e) Au cours des essais de tension de choc, la valve doit être contrôlée afin de vérifier qu'elle se comporte correctement face au brouillage électromagnétique (voir Article 12). À cet effet, les parties de l'électronique de base de la valve qui sont nécessaires à l'échange correct des informations avec la valve d'essai doivent être incluses.

8.3.4 Essai de valve sous tension de choc de manœuvre

Une forme d'onde de tension de choc de manœuvre normalisée, conforme à l'IEC 60060, doit être utilisée.

L'essai doit comprendre trois applications de tensions de choc de manœuvre de polarité positive et trois applications de tensions de choc de manœuvre de polarité négative d'amplitude spécifiée, l'électronique de valve étant initialement alimentée.

L'essai de polarité positive doit être répété après que l'alimentation de l'électronique de valve ait été initialement coupée.

Si la valve comporte un allumage de protection contre les surtensions en sens direct, fonctionnant au cours de l'essai direct, trois applications supplémentaires de tensions de choc de manœuvre positives d'amplitude convenue doivent être effectuées, de sorte que la valve ne s'allume pas. Pour les essais supplémentaires, l'électronique de valve doit être alimentée.

La tension de tenue d'essai au choc de manœuvre de la valve U_{tsv} doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tsv} = \pm SIPL_v \times k_{10}$$

où

$SIPL_v$ est le niveau de protection aux surtensions de manœuvre du parafoudre de la valve;

k_{10} est le facteur de sécurité d'essai (voir 8.3.3 a)).

8.3.5 Essai de valve sous tension de choc de foudre

Une forme d'onde de tension de choc de foudre normalisée, conforme à l'IEC 60060, doit être utilisée.

L'essai doit comprendre trois applications de tensions de choc de foudre de polarité positive et trois applications de tensions de choc de foudre de polarité négative d'amplitude spécifiée.

Si la valve comporte un allumage de protection contre les surtensions en sens direct, fonctionnant au cours de l'essai direct, trois applications supplémentaires de tensions de choc positives d'amplitude et de durée de front convenues doivent être effectuées, de sorte que la valve ne s'allume pas.

La tension de tenue d'essai au choc de foudre de la valve, U_{tlv} , doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tlv} = \pm LIPL_v \times k_{11}$$

où

$LIPL_v$ est le niveau de protection aux surtensions de foudre du parafoudre de la valve;

k_{11} est le facteur de sécurité d'essai (voir 8.3.3 a)).

8.3.6 Essai de valve sous tension de choc à front raide

Pour l'essai de tension de choc à front raide, une forme d'onde de tension telle qu'elle est définie par la Figure 1 doit être utilisée. La raideur S et la valeur de crête virtuelles de la contrainte de tension de choc à front raide la plus défavorable au niveau de la valve doivent être déterminées à partir des études du système. La raideur virtuelle doit être évaluée à partir des résultats d'études en tant que du/dt maximum, en $kV/\mu s$, en établissant une moyenne sur 60 % de l'excursion de tension totale.

Pour le calcul de la tension d'essai, la raideur et l'amplitude virtuelles dérivées des études du système doivent toutes les deux être multipliées par le facteur de sécurité d'essai correspondant, c'est-à-dire que la durée de front virtuel doit être maintenue constante.

NOTE Si l'apparition de fronts d'ondes inférieurs à 0,1 µs est prévue en cours de fonctionnement, l'acheteur et le fournisseur peuvent convenir du remplacement de l'essai de tension de choc à front raide décrit ci-dessus par un essai approprié, à front très rapide.

L'essai doit comprendre trois applications de tensions de choc à front raide de polarité positive et trois applications de tensions de choc à front raide de polarité négative, d'amplitude spécifiée.

Si la valve comporte un allumage de protection contre les surtensions ou du/dt excessif en sens direct, fonctionnant au cours de l'essai direct, trois applications supplémentaires de tensions de choc positives d'amplitude et de durée de front convenues doivent être réalisées de sorte que la valve ne s'allume pas.

La tension de tenue d'essai de tension de choc à front raide de la valve U_{tsfv} doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tsfv} = \pm STIPL_v \times k_{12}$$

où

$STIPL_v$ est le niveau de protection aux surtensions à front raide du parafoudre de la valve déterminé par le courant de coordination obtenu des études de réseau;

k_{12} est le facteur de sécurité d'essai (voir 8.3.3 a)).

8.4 Essai d'allumage non périodique de valve

8.4.1 Objectifs de l'essai

L'objectif principal des essais d'allumage non périodique de valve consiste à vérifier l'adaptation des thyristors et des circuits électriques associés aux contraintes de courant et de tension lors de l'amorçage dans des conditions de haute tension spécifiées. Cet essai peut généralement être réalisé dans le cadre de l'essai de valve sous tension de choc de manœuvre (voir 8.3.4).

8.4.2 Objet d'essai

Il convient que l'objet d'essai soit tel que défini en 8.2. L'essai peut être réalisé sur la section de valve au lieu de la valve complète pour la méthode B du parafoudre de 8.4.3. Dans ce cas, le fournisseur doit démontrer l'équivalence entre l'essai sur section de valve et l'essai sur valve complète.

S'il faut démontrer l'immunité aux perturbations électromagnétiques résultant du couplage entre des valves adjacentes dans une UVM selon la première approche décrite en 12.3.2, en plus de la valve d'essai, une valve auxiliaire (ou une portion suffisante de cette valve) doit alors être comprise dans l'essai. Cette valve auxiliaire constitue l'objet d'essai dans la mesure où la mise en évidence de l'immunité aux perturbations électromagnétiques par couplage est concernée. L'objet d'essai de perturbations électromagnétiques doit être configuré géométriquement en fonction de la disposition de fonctionnement. L'objet d'essai de perturbations électromagnétiques doit être polarisé dans le sens direct au moment du déclenchement de la valve soumise à un allumage non périodique. L'électronique de l'objet d'essai de perturbations électromagnétiques doit être alimentée. Les parties de l'électronique de base de la valve qui sont nécessaires pour l'échange correct des informations avec l'objet d'essai de perturbations électromagnétiques doivent être incluses.

NOTE La disposition géométrique spécifique à utiliser ainsi que l'amplitude de la tension directe pour l'objet d'essai de perturbations électromagnétiques font l'objet d'un accord, sur la base de la conception de l'UVM.

8.4.3 Exigences d'essai

L'essai doit comprendre trois applications de tensions de choc de manœuvre de polarité positive et le déclenchement de la conduction de la valve à la crête de l'impulsion.

L'impédance du générateur de choc doit être choisie de façon à reproduire non seulement le courant d'amorçage résultant de la décharge de la capacité parasite du circuit, mais également le courant d'amorçage résultant de la commutation de la valeur maximale du courant du parafoudre, déterminée à partir des études du système.

L'essai doit être réalisé à température ambiante.

Deux méthodes, décrites ci-dessous, sont acceptables pour y parvenir.

A Méthode du condensateur en parallèle. Dans cette méthode, un condensateur doit être connecté en parallèle avec la valve d'essai, dont la valeur engendre une décharge de courant au moins aussi importante que celle des premières 10 μ s de la valeur prévue. Il peut se révéler important de rallonger les durées si les études du système démontrent que le courant d'amorçage est oscillatoire et qu'il existe un risque d'extinction de courant dans les thyristors. La valeur de crête du courant doit être déterminée à partir d'études du système, en prenant en compte toutes les conditions suivantes:

- la tension de la valve à l'allumage;
- le comportement non linéaire des bobines d'inductance de valve;
- l'effet d'amortissement de la résistance de conduction du thyristor;
- la capacité parasite et l'inductance de valve.

B Méthode du parafoudre. Dans cette méthode, un parafoudre doit être connecté entre les bornes de la valve et la tension d'essai être appliquée à partir d'une inductance égale à l'inductance de commutation. Une capacité égale à la valeur maximale de la capacité parasite entre bornes de la valve, prévue en service, doit être connectée entre les bornes de la valve. Lorsque le courant traversant le parafoudre et la tension à ses bornes atteignent les niveaux spécifiés, la conduction de la valve doit être déclenchée.

La tension de la valve à l'allumage doit correspondre à la plus petite des valeurs suivantes:

- a) niveau de protection aux surtensions de manœuvre du parafoudre de la valve;
- b) niveau d'allumage de protection de la valve;
- c) niveau de blocage d'allumage de la valve (voir Note 3).

Si la valve est déclenchée par un allumage de protection en dessous du niveau de protection aux surtensions de manœuvre du parafoudre de la valve, l'essai doit être répété en rendant opérationnels les niveaux de thyristors redondants. Si la valve se déclenche encore du fait d'un allumage de protection en dessous du niveau de protection aux surtensions de manœuvre, l'essai doit être répété de nouveau en réduisant le niveau de choc juste en dessous du seuil d'allumage de protection et en déclenchant la valve par les circuits d'allumage normaux.

NOTE 1 Un facteur de sécurité d'essai de tension au moins égal à la différence entre la tolérance maximale et la tolérance minimale du parafoudre de la valve (typiquement 5 % environ) est déjà inclus dans cet essai, ce qui entraîne une augmentation correspondante du courant. Par conséquent, aucun facteur de sécurité d'essai distinct n'est appliqué à la tension et au courant d'essai.

NOTE 2 En raison des limitations de la taille pratique des générateurs de choc, la méthode B s'adapte uniquement aux valves à basse tension assignée. Par conséquent, lorsque des études de système indiquent la nécessité d'une représentation exacte du courant d'amorçage pour des durées supérieures à 10 μ s, l'essai d'allumage non périodique de valve peut être réalisé en appliquant la méthode A et peut être complété par des essais séparés sur des sections de valve en appliquant la méthode B.

NOTE 3 Dans certaines conceptions, l'allumage de la valve à partir d'une tension élevée peut être bloqué par un mesurage de la tension au niveau de la valve ou par un mesurage du courant dans le parafoudre de valve monté en parallèle. Dans ce cas, les détails de l'essai d'allumage non périodique font l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur en tenant compte des caractéristiques des circuits de blocage employés.

9 Essais d'allumage et d'extinction périodiques

9.1 Objectifs des essais

Les principaux objectifs des essais d'allumage et d'extinction périodiques sont les suivants:

- a) vérifier l'adaptation des niveaux de thyristors et des circuits électriques associés dans une valve en fonction des contraintes de courant, de tension et de température lors de l'amorçage et du désamorçage dans les conditions de contraintes répétitives les plus défavorables;
- b) démontrer le bon fonctionnement de la valve pour une tension répétitive minimale, coïncidant avec des angles de retard et d'extinction minimaux, à température maximale.

9.2 Objet d'essai

Les essais peuvent être réalisés soit sur une valve complète soit sur des sections de valve. Le choix dépend principalement de la conception de la valve et des installations d'essai disponibles. Les essais spécifiés dans la présente norme sont applicables aux sections de valve contenant cinq niveaux de thyristors ou plus, connectés en série. Si les essais utilisant moins de cinq niveaux sont proposés, des facteurs de sécurité d'essai supplémentaires doivent être convenus. En aucun cas le nombre de niveaux connectés en série ne doit être inférieur à trois pour les essais.

La valve ou les sections de valve en essai doivent être assemblées avec tous les composants auxiliaires. Si cela est exigé, un parafoudre de valve d'échelle réduite doit être inclus. Le parafoudre doit être choisi pour ajuster le niveau de protection selon le nombre de niveaux connectés en série en essai, pour donner un niveau de protection correspondant au moins à la caractéristique maximale du parafoudre utilisé en service.

9.3 Exigences d'essai

9.3.1 Généralités

Les essais doivent être réalisés en utilisant des circuits d'essai adaptés produisant des contraintes équivalentes aux conditions de service correspondantes; par exemple, deux ponts de six impulsions dans un montage dos-à-dos ou un circuit d'essai synthétique approprié.

Le fluide de refroidissement doit être dans un état représentatif des conditions de service. Le débit et la température, en particulier, doivent être établis en fonction des valeurs les plus défavorables correspondant à l'essai en question.

Les conditions de service équivalentes à reproduire sont spécifiées de 9.3.2 à 9.3.6. Les Paragraphes 9.3.2, 9.3.3 et 9.3.4 sont définis pour un fonctionnement à température maximale de jonction du thyristor en fonctionnement permanent. Si des tensions d'allumage ou de rétablissement supérieures, ou si des angles de retard ou d'extinction inférieurs sont possibles dans des conditions de charge ne coïncidant pas avec la température maximale de jonction du thyristor en fonctionnement permanent, ces conditions doivent également être reproduites. Par exemple, il peut s'agir du fonctionnement de surcharge en hiver et de l'utilisation de convertisseurs pour limiter l'exportation de puissance réactive excédentaire dans le réseau en courant alternatif dans des conditions de charge faible. Lorsque des essais sont réalisés afin de reproduire ces conditions, le courant d'essai et la température du fluide de refroidissement peuvent être ajustés pour refléter les conditions thermiques les plus défavorables correspondant aux conditions de service représentées dans l'essai.

Pour obtenir des contraintes de tension et de courant représentatives des conditions de service, il est important que la capacité parasite totale associée à la valve ainsi que les inductances contribuant à la réactance de commutation soient correctement représentées dans le circuit. Dans un circuit à pont de six impulsions débloqué, chaque valve est soumise à une impédance parallèle égale à 1,5 fois celle d'une valve unique à l'état bloqué. Si un circuit

d'essai autre qu'un pont à six impulsions est utilisé, il est important que cette particularité soit correctement représentée dans le circuit.

Lors des essais sur les sections de valve, le facteur d'échelle des essais doit être appliqué.

Les tensions d'essai ainsi que les résistances et inductances des circuits d'essai doivent être déterminées à partir des valeurs à pleine échelle en les multipliant par un facteur d'échelle, tandis que les capacités des circuits d'essai doivent être déterminées à partir des valeurs à pleine échelle, en les divisant par un facteur d'échelle.

Pour reproduire les effets thermiques corrects, il convient de réaliser les essais d'allumage et d'extinction périodiques à la fréquence de service. Lorsque cela n'est pas possible et que la fréquence de service est différente de la fréquence d'essai, les conditions d'essai doivent être ajustées de façon à compenser approximativement la différence des pertes dépendant de la fréquence, ce qui est nécessaire pour démontrer que le matériel est soumis à des contraintes adaptées. L'IEC 61803 donne des lignes directrices sur la sensibilité à la fréquence des divers mécanismes générateurs de pertes.

Durant les essais, l'échauffement des composants générateurs de chaleur les plus critiques ainsi que de leurs surfaces de montage adjacentes doit être surveillé pour vérifier que les températures maximales atteintes s'inscrivent dans les limites permises par la conception (voir 4.4.3). Le nombre et l'emplacement des composants à contrôler doivent faire l'objet d'un accord, mais il ne doit pas figurer pour chacun d'entre eux moins de trois exemples: température du boîtier du thyristor, température de surface de la résistance d'amortissement et température de surface de l'inductance saturable de la valve. Si un nombre inférieur à trois éléments d'un type de composant est installé dans une valve, tous les composants de ce type dans la valve doivent être contrôlés.

9.3.2 Essais en service permanent maximal

9.3.2.1 Généralités

Le courant d'essai doit être basé sur le courant continu permanent maximal à la température ambiante maximale.

Le courant d'essai doit inclure un facteur de sécurité d'essai de 1,05.

La tension d'essai U_{tpv1} correspondant à la valeur à vide entre phases dans un convertisseur en pont à six impulsions doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tpv1} = U_{v0max} \times k_n \times k_{13}$$

où

U_{v0max} est la tension maximale à vide entre phases en régime permanent du côté valve du transformateur;

k_n est le facteur d'échelle d'essai selon 4.3.2;

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

$k_{13} = 1,05$.

Trois conditions d'essai en service maximal doivent être remplies comme indiqué en 9.3.2.2, 9.3.2.3 et 9.3.2.4 ci-dessous. Ces conditions peuvent être remplies séparément ou selon une combinaison quelconque.

NOTE Sous réserve d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur, il peut être envisagé d'appliquer les contraintes de courant et de tension séparément, à condition de pouvoir démontrer que les objectifs des essais sont atteints.

9.3.2.2 Essai de tension d'allumage en service permanent maximal

Faire fonctionner la valve ou les sections de valve selon un angle de retard α de sorte que la tension d'allumage de la valve (ou section de valve), u_f , ne soit pas inférieure à la plus grande des valeurs suivantes:

$$a) u_{fr} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin \alpha$$

$$b) u_{fi} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin(\gamma + \mu)$$

où

α est l'angle de retard en régime permanent correspondant à la condition de service du redresseur qui donne lieu à la valeur la plus élevée de u_{fr} , coïncidant avec un fonctionnement à la température maximale de jonction du thyristor en fonctionnement permanent.

$(\gamma + \mu)$ est la somme de l'angle d'extinction en régime permanent et de l'angle d'empiètement de commutation, correspondant à la condition de service de l'onduleur qui donne lieu à la valeur la plus élevée de u_{fi} , coïncidant avec un fonctionnement à la température maximale de jonction du thyristor en fonctionnement permanent.

La durée de l'essai ne doit pas être inférieure à 30 min après la stabilisation de la température du fluide de refroidissement en sortie.

9.3.2.3 Essai de tension de rétablissement en service permanent maximal

Faire fonctionner la valve ou les sections de valve selon un angle de retard α de sorte que la tension d'échelon présumée lors du rétablissement au courant zéro u_r ne soit pas inférieure à la plus grande des valeurs suivantes:

$$a) u_{rr} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin(\alpha + \mu)$$

$$b) u_{ri} = U_{tpv1} \times \sqrt{2} \times \sin \gamma$$

où

$(\alpha + \mu)$ est la somme de l'angle de retard en régime permanent et de l'angle d'empiètement de commutation, correspondant à la condition de service du redresseur qui donne lieu à la valeur la plus élevée de u_{rr} , coïncidant avec un fonctionnement à la température maximale de jonction du thyristor en fonctionnement permanent.

γ est l'angle d'extinction en régime permanent correspondant à la condition de service de l'onduleur qui donne lieu à la valeur la plus élevée de u_{ri} , coïncidant avec un fonctionnement à la température maximale de jonction du thyristor en fonctionnement permanent.

La durée de l'essai ne doit pas être inférieure à 30 min après la stabilisation de la température du fluide de refroidissement en sortie.

9.3.2.4 Essai d'échauffement

Pour simuler les pertes maximales combinées dans les thyristors et les circuits d'amortissement en fonctionnement permanent, faire fonctionner la valve ou les sections de valve selon un angle de retard α de sorte que la somme des carrés des sauts de tension dans la forme d'onde de tension de la valve, mesurée sur un cycle (en excluant les transitoires de dépassement de commutation) ne soit pas inférieure à:

$$\sum \Delta V^2 = (1,75 + 1,5m^2) \times 2 \times U_{tpv1}^2 [\sin^2 \alpha + \sin^2(\alpha + \mu)]$$

où

m est le facteur de couplage électromagnétique à bande étroite (voir 5.1.4 de l'IEC 61803,1999);

α et μ correspondent à la condition de service du redresseur ou de l'onduleur en régime permanent pour qui la valeur $U_{tpv1}^2[\sin^2 \alpha + \sin^2 (\alpha + \mu)]$ est maximale, coïncidant avec un fonctionnement à la température maximale de jonction du thyristor en fonctionnement permanent.

Si un circuit d'essai à deux unités de six impulsions dos à dos est utilisé, les conditions exigées pour cet essai sont remplies automatiquement lors de l'exécution de 9.3.2.2 et 9.3.2.3. Cependant, des différences par rapport à un fonctionnement dodécaphasé doivent être considérées.

La durée de l'essai ne doit pas être inférieure à 1 h après la stabilisation de la température du fluide de refroidissement en sortie.

9.3.3 Essai en service temporaire maximal ($\alpha = 90^\circ$)

La tension d'essai U_{tpv2} correspondant à la valeur à vide entre phases dans un convertisseur en pont à six impulsions doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tpv2} = U_{v0max} \times k_n \times k_r \times k_{14}$$

où

U_{v0max} est la tension maximale à vide entre phases en régime permanent du côté valve du transformateur;

k_n est le facteur d'échelle d'essai selon 4.3.2;

k_r est le facteur de surtension temporaire;

k_r est la valeur déterminée à partir d'études du système;

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

$k_{14} = 1,05$.

Avant l'essai, la valve ou les sections de valve doivent être amenées à un équilibre thermique dans les conditions précisées en 9.3.2.2. Faire fonctionner la valve ou les sections de valve, pendant le temps spécifié, selon un angle de retard $\alpha = 90^\circ$ de sorte que les tensions d'allumage et de rétablissement présumées ne soient pas inférieures à $U_{tpv2} \times \sqrt{2}$. La somme des carrés des sauts de tension dans la forme d'onde de tension de la valve ne doit pas être inférieure à celle obtenue à partir de l'expression indiquée en 9.3.2.4, en utilisant $\alpha = 90^\circ$ et U_{tpv1} selon la définition donnée dans le présent article. Le courant durant la période de fonctionnement avec $\alpha = 90^\circ$ doit être au moins égal à la valeur maximale correspondant à un fonctionnement avec $\alpha = 90^\circ$, déterminée à partir des études du système, multipliée par un facteur de sécurité d'essai de 1,05. Après le temps spécifié à $\alpha = 90^\circ$, revenir aux conditions correspondant à 9.3.2.2 et maintenir à un niveau constant pendant au moins 15 min.

La durée de fonctionnement à $\alpha = 90^\circ$ doit être au moins égale au double du temps autorisé en service pour cet angle de retard.

En fonction de la stratégie de contrôle de surtension temporaire pour ce programme, il peut être nécessaire de réaliser les essais selon des durées différentes et avec des valeurs différentes de k_r .

9.3.4 Essais sous tension alternative minimale

9.3.4.1 Généralités

Le courant d'essai et la température du fluide de refroidissement doivent être choisis selon la définition de 9.3.2.

La tension d'essai U_{tpv3} correspondant à la valeur à vide entre phases dans le convertisseur en pont à six impulsions doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{\text{tpv3}} = U_{\text{v0min}} \times \frac{N_{\text{tut}}}{N_{\text{t}}} \times k_{15}$$

où

U_{v0min} est la tension minimale à vide entre phases en régime permanent du côté valve du transformateur;

N_{tut} est le nombre de niveaux de thyristors en essai, connectés en série;

N_{t} est le nombre total de niveaux de thyristors connectés en série dans une valve complète, y compris les niveaux redondants;

k_{15} est le facteur de sécurité d'essai;

$k_{15} = 0,95$.

9.3.4.2 Essai à angle de retard minimal

Faire fonctionner la valve ou les sections de valve selon un angle de retard α du redresseur de sorte que la tension d'allumage de (section de) valve u_{fr} ne soit pas supérieure à:

$$u_{\text{fr}} = U_{\text{tpv3}} \times \sqrt{2} \times \sin \alpha$$

où α est l'angle de retard minimal du redresseur en régime permanent en service coïncidant avec un fonctionnement à température maximale de jonction de thyristor en fonctionnement permanent.

La durée de l'essai ne doit pas être inférieure à 15 min après la stabilisation de la température du fluide de refroidissement en sortie.

Si la stratégie de fonctionnement du convertisseur permet un fonctionnement temporaire avec une valeur de α inférieure à la valeur minimale en régime permanent, le fonctionnement pour cette valeur réduite doit également être démontré. La durée de fonctionnement pour la valeur α transitoire doit correspondre au moins au double du temps normal autorisé en service à cet angle de retard.

Il doit être démontré que la valve, ou les sections de valve, s'allument régulièrement pour les valeurs de α à la fois en régime permanent et transitoire.

9.3.4.3 Essai à angle d'extinction minimal

Faire fonctionner la valve ou les sections de valve selon un angle d'extinction γ de l'onduleur, de sorte que la tension d'échelon présumée lors du rétablissement au courant zéro u_{ri} ne soit pas supérieure à:

$$u_{\text{ri}} = U_{\text{tpv3}} \times \sqrt{2} \times \sin \gamma$$

et que le temps séparant le passage du courant nul à la tension nulle en sens positif t_{off} ne soit pas supérieur à:

$$t_{\text{off}} = \frac{\gamma}{360 \times f}$$

où

γ est l'angle d'extinction minimal en régime permanent en service coïncidant avec un fonctionnement à température maximale de jonction de thyristor en fonctionnement;

f est la fréquence de service.

La durée de l'essai ne doit pas être inférieure à 15 min après la stabilisation de la température du fluide de refroidissement en sortie.

Si la stratégie de fonctionnement du convertisseur permet un fonctionnement temporaire avec une valeur de γ inférieure à la valeur minimale en régime permanent, le fonctionnement pour cette valeur réduite doit également être démontré. La durée de fonctionnement pour la valeur minimale γ transitoire doit correspondre au moins au double du temps normal autorisé en service à cet angle d'extinction.

Il doit être démontré qu'aucune défaillance de commutation ne survient pour les valeurs minimales de γ à la fois en régime permanent et transitoire.

9.3.5 Essai à manque de tension temporaire

Le but de cet essai est de vérifier le bon fonctionnement des conceptions de valve dans lesquelles l'énergie servant à l'allumage des circuits provient de la tension apparaissant entre les bornes de la valve.

Avant l'essai, la valve ou les sections de valve doivent être manœuvrées dans des conditions correspondant à 9.3.4.2 (α minimum en régime permanent) à l'exception du courant d'essai qui peut être réduit. Faire fonctionner la valve ou les sections de valve pendant la durée spécifiée pour une valeur transitoire minimale de α coïncidant avec une tension d'essai U_{tpv4} , qui doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{tpv4} = U_{v0N} \times \frac{N_{tut}}{N_t} \times k_u \times k_{16}$$

où

U_{v0N} est la valeur nominale de la tension à vide entre phases du côté valve du transformateur;

N_{tut} est le nombre de niveaux de thyristors en essai, connectés en série;

N_t est le nombre total de niveaux de thyristors connectés en série dans une valve complète, y compris les niveaux redondants;

k_u est le facteur de manque de tension temporaire (fréquence fondamentale) pour lequel les convertisseurs doivent rester contrôlables;

k_{16} est le facteur de sécurité d'essai;

$k_{16} = 0,95$.

La durée de fonctionnement à manque de tension temporaire ne doit pas être inférieure à la durée d'élimination de défaut pour le réseau en courant alternatif, comprenant, le cas échéant, le temps de récupération résultant de séquences de refermeture automatique dans le réseau en courant alternatif.

Après la durée spécifiée, revenir aux conditions correspondant à 9.3.4.2.

Il doit être démontré que la valve, ou les sections de valve restent contrôlables pendant toute la durée du manque de tension temporaire.

En fonction du niveau de manque de tension temporaire et de la méthode d'essai adoptée, il peut ne pas être possible de maintenir un fonctionnement normal du circuit d'essai au cours de l'essai. Si c'est le cas, il doit être démontré qu'il s'agit d'une conséquence inhérente aux conditions de tension anormales durant l'essai et non le résultat d'une défaillance de la valve ou des sections de valve ne répondant pas correctement aux signaux de commande d'allumage.

9.3.6 Essais avec courant continu intermittent

L'essai doit être réalisé alors que le fluide de refroidissement de la valve est à température maximale. Les contraintes résultant d'un fonctionnement en courant continu intermittent pour deux conditions de fonctionnement doivent être reproduites:

- a) fonctionnement à $\alpha = 90^\circ$ avec tension alternative maximale et $k_r = 1,0$ (voir 9.3.3);
- b) fonctionnement du redresseur à valeur minimale de α sous tension alternative minimale (voir 9.3.4.1).

La durée de l'essai doit être au moins égale au double de la durée normale autorisée en service pour un fonctionnement en courant continu intermittent dans les conditions spécifiées.

Les essais doivent démontrer la fiabilité de l'amorçage des thyristors, conformément à la conception, selon le nombre d'allumages requis pour chaque cycle. Pour une démonstration efficace, il convient d'examiner le comportement de la valve ou des sections de valve avec un courant continu intermittent réglable pour lequel la durée des périodes de courant nul peut varier entre zéro et une valeur longue en comparaison du temps de blocage des thyristors.

NOTE Le nombre maximal d'impulsions de courant par cycle dans une valve lors d'un fonctionnement en courant continu intermittent est normalement de quatre pour les valves utilisées dans les applications de transport d'énergie en CCHT et de huit pour les valves utilisées dans les montages dos-à-dos.

10 Essais sous tension directe transitoire durant la période de rétablissement

10.1 Objectif des essais

Le principal objectif des essais sous tension directe transitoire au cours de la période de rétablissement consiste à vérifier qu'à température maximale, la valve tolère l'application de tensions directes transitoires au cours de la période suivant immédiatement l'extinction du courant. Les essais doivent démontrer soit que la valve résiste à la tension directe transitoire, soit qu'elle s'amorce en toute sécurité.

Un second objectif consiste à démontrer que, pour des transitoires en sens direct appliqués après l'intervalle de rétablissement, le niveau d'allumage de protection et la tenue du/dt d'une valve comprenant des thyristors en fonctionnement à la température maximale de jonction en régime permanent correspondent à la conception.

10.2 Objet d'essai

Voir 9.2.

10.3 Exigences d'essai

Les exigences d'essai sont les mêmes que pour les essais d'allumage et d'extinction périodiques de l'Article 9, excepté le fait qu'un générateur de choc, connecté au niveau d'une valve ou d'une section de valve d'onduleur, est également exigé. Le déclenchement du générateur de choc doit être synchronisé avec les formes d'ondes en fonctionnement normal pour que l'application des chocs directs, à la valve ou aux sections de valve en essai, soit effectuée dans l'intervalle suivant immédiatement l'extinction du courant.

Le courant d'essai et la température du fluide de refroidissement doivent être choisis afin de produire la température maximale de jonction de thyristor en fonctionnement permanent. Les conditions de fonctionnement relatives à la valve (ou aux sections de valve) en essai doivent être celles de 9.3.4.3 pour une valeur minimale de γ en régime permanent.

Le générateur de choc doit être réglé de sorte que la tension de crête présumée dans le sens direct U_{tvd} soit déterminée par:

$$U_{\text{tvtd}} = U_{\text{IMPLV}} \times k_n$$

où

U_{IMPLV} est le niveau de protection aux surtensions du parafoudre de la valve, ou le niveau garanti de non-allumage pour un allumage de protection avec forme d'onde de choc de manœuvre, si celui-ci est inférieur;

K_n est le facteur d'échelle selon 4.3.2.

NOTE 1 U_{SIPLV} est utilisé comme U_{IMPLV} pour la forme d'onde de durée de front de 100 μs et U_{LIPLV} est utilisé comme U_{IMPLV} pour les formes d'ondes de durée de front de 1,2 et 10 μs .

L'essai doit être réalisé avec trois formes d'ondes de choc différentes:

- type 1: durée de front 100 $\mu\text{s} \pm 30 \%$;
- type 2: durée de front 10 $\mu\text{s} \pm 30 \%$;
- type 3: durée de front 1,2 $\mu\text{s} \pm 30 \%$.

La durée entre la pointe de tension et la moitié de la valeur de la tension de choc n'est pas critique mais ne doit pas être inférieure à 10 μs pour une forme d'onde quelconque lorsqu'elle est appliquée dans des conditions pour lesquelles la valve ne s'amorce pas du fait de la tension de choc.

NOTE 2 La sensibilité du matériel aux tensions de choc de formes d'ondes différentes dépend de la conception. Après accord entre l'acheteur et le fournisseur, il peut être envisagé de limiter l'essai à une seule forme d'onde de choc, à condition de pouvoir démontrer que les objectifs de l'essai sont atteints.

Un nombre minimal de cinq impulsions de chaque type doit être appliqué séparément, à différents moments dans l'intervalle séparant le courant nul de la fin de la période de rétablissement négatif. Trois tensions de choc supplémentaires de chaque type doivent être appliquées après l'achèvement de la période de rétablissement.

NOTE 3 La période de rétablissement est considérée comme achevée lorsque les thyristors ont complètement retrouvé leur tension à l'état bloqué et leurs capacités de tenue du/df . Dans certaines conceptions, cela peut se traduire par l'achèvement d'une fenêtre temporelle au cours de laquelle les circuits de protection présentent une sensibilité accrue. La durée correspondante est indiquée par le fournisseur.

La valve ou les sections de valve doivent soit résister aux tensions de choc soit s'amorcer en toute sécurité.

Si la valve comporte un allumage de protection contre les tensions directes transitoires au cours de la période de rétablissement, il doit être démontré que la protection fonctionne comme prévu.

La valve ne doit pas s'allumer sous une tension de choc quelconque, appliquée après la fin de la période de rétablissement, sauf s'il est possible de démontrer que l'allumage est le résultat d'une réaction légitime des circuits d'allumage de protection à l'état bloqué (voir Note 3 ci-dessus). Si l'allumage de protection survient avec les formes d'ondes spécifiées, lorsque l'application est faite après la fin de la période de rétablissement, trois applications supplémentaires de tensions de choc positives d'amplitude et de durée de front révisées doivent être réalisées, de sorte que la valve ne s'allume pas. Il doit être démontré que l'amplitude et les durées de front révisées concernant le non-allumage s'intègrent de façon cohérente à la stratégie d'allumage de protection de la valve.

11 Essais de valve en courant de défaut

11.1 Objectif des essais

Les principaux objectifs des essais en courant de défaut consistent à démontrer que la conception correcte de la valve lui permet de supporter les contraintes maximales de courant, de tension et de température résultant de courants de court-circuit.

Les essais doivent démontrer que la valve est capable de:

- a) supprimer un courant de défaut à une boucle d'amplitude maximale, en partant d'une température maximale et en bloquant les tensions inverse et directe qui s'ensuivent, y compris toute surtension due à un rejet de charge;
- b) supporter, avec déclenchement de disjoncteur, un courant de défaut à boucles multiples, dans des conditions similaires à l'essai à boucle unique, mais sans réapplication de tension directe. Cet essai couvre le cas – généralement rare – où les déphasages ou les transitoires dans le réseau à courant alternatif empêchent d'instaurer les conditions nécessaires pour que la valve bloque le défaut à la fin du premier cycle.

11.2 Objet d'essai

Voir 9.2.

11.3 Exigences d'essai

11.3.1 Généralités

Les essais doivent être réalisés en utilisant des circuits d'essai capables de reproduire, aussi précisément que possible, les conditions de courant de défaut spécifiées les plus défavorables.

Pour l'essai de courant de défaut à une boucle, la principale exigence consiste à reproduire la combinaison la plus défavorable de tension directe et de température de jonction de thyristor à la valeur de crête du premier demi-cycle positif de tension réappliquée après une boucle de courant de défaut.

Pour l'essai de courant de défaut à boucles multiples, la principale exigence consiste à reproduire la combinaison la plus défavorable de tension inverse et de température de jonction de thyristor pour un rétablissement négatif après l'avant-dernière boucle d'un courant de défaut à boucles multiples.

Une seconde exigence de l'essai de courant de défaut à une boucle consiste à démontrer que les thyristors présentent un temps de désamorçage adéquat leur permettant de supporter la réapplication d'une tension directe au passage au zéro de la tension en sens positif immédiatement après le courant de défaut. L'intervalle de temps entre le passage au zéro du courant et celui de la tension en sens positif dépend du coefficient d'amortissement du circuit d'essai et de la fréquence d'alimentation d'essai. Il convient soit de les égaliser avec les valeurs de service ou de les ajuster de manière à produire une valeur représentative de l'intervalle de suppression. Quand ce n'est pas possible, le fournisseur doit démontrer par d'autres moyens que le temps de désamorçage des thyristors, après une boucle de courant de défaut, est suffisamment court.

Pour reproduire les tensions inverses transitoires correctes au cours de l'essai de courant de défaut à boucles multiples, il est important de bien représenter dans le circuit la capacité parasite totale associée à la valve et les inductances contribuant à la réactance de commutation. Il est important de bien représenter l'impédance parallèle effective des autres valves d'un pont à six impulsions, en tenant compte de l'emplacement du court-circuit présumé et de la stratégie de commande adoptée pour les surintensités. Il n'est pas nécessaire de soumettre la valve ou les sections de valve à une quelconque tension de rétablissement après la boucle finale du courant de défaut.

Lors de l'essai de sections de valve, les tensions d'essai et les valeurs des composants du circuit d'essai doivent être mises à l'échelle en fonction du nombre de niveaux de thyristors en essai, connectés en série, selon la description de 9.3.

NOTE Les essais de courant de défaut spécifiés en 11.3.2 et 11.3.3 sont basés sur la condition normale la plus défavorable présentant la valeur maximale de courant de défaut résultant d'un court-circuit au niveau d'une valve de redresseur. Si la combinaison la plus défavorable de tension et température de jonction pour les thyristors ne coïncide pas avec le courant de défaut maximal résultant d'un court-circuit au niveau d'une valve de redresseur, les conditions d'essai sont modifiées en conséquence.

11.3.2 Essai en courant de défaut à une boucle avec réapplication de tension directe

Avant l'essai, la valve ou les sections de valve doivent être actionnées de manière à produire la température maximale de jonction de thyristor en fonctionnement permanent.

Soumettre la valve ou les sections de valve à une boucle de courant de défaut de valeur de crête et de durée de conduction spécifiées, puis réappliquer une tension directe. La valeur de crête du premier demi-cycle de tension directe réappliquée U_{tfvd} doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{\text{tfvd}} = U_{\text{v0max}} \times \sqrt{2} \times k_n \times k_r \times k_{17}$$

où

U_{v0ma} est la tension maximale à vide entre phases en régime permanent du côté valve du transformateur;

k_n est le facteur d'échelle d'essai selon 4.3.2;

k_r est le facteur de surtension temporaire;

k_r est la valeur déterminée à partir des études du système;

k_{17} est le facteur de sécurité d'essai;

$k_{17} = 1,05$.

La valeur de crête et la durée de conduction du courant de défaut doivent être déterminées à partir des études du système, en tenant compte des éléments suivants:

- le niveau maximal de défaut de court-circuit de réseau en courant alternatif;
- la fréquence minimale de réseau en courant alternatif en régime permanent adaptée à l'élément précédent;
- la valeur de tolérance minimale pour la réactance du transformateur de convertisseur par rapport au côté valve;
- les combinaisons les plus critiques parmi les suivantes:
 - l'angle de retard le plus faible au déclenchement du défaut correspondant à la tension maximale de fonctionnement en régime permanent par rapport au côté valve,
 - la tension de fonctionnement la plus basse par rapport au côté valve au déclenchement du défaut correspondant à l'angle de retard transitoire minimal;
- les coefficients d'amortissement minimaux pour le réseau en courant alternatif et le transformateur de convertisseur par rapport au côté valve;
- le court-circuit au niveau d'une valve de redresseur.

La valeur de crête du courant de défaut ainsi calculée ne doit pas être réduite de la moitié du courant continu ($I_d/2$) à moins que le fournisseur ne puisse démontrer que la réduction est valable pour la stratégie de commande proposée.

La valeur de k_r doit être compatible avec les conditions du réseau en courant alternatif utilisées pour calculer le courant de défaut. La charge à courant continu rejetée doit correspondre à la quantité de puissance assignée en courant continu du convertisseur qui est perdue en raison du défaut.

Si les paramètres du circuit d'essai empêchent d'atteindre l'amplitude de courant de défaut et la durée de conduction spécifiées, une forme d'onde de courant de sévérité équivalente peut être utilisée. Il doit être démontré que la forme d'onde équivalente produit, au moment de l'application de la contrainte de tension de crête, une température de jonction de thyristor au moins aussi élevée que celle qui serait produite avec la forme d'onde de courant correcte.

11.3.3 Essai en courant de défaut à boucles multiples sans réapplication de tension directe

Avant l'essai, la valve ou les sections de valve doivent être actionnées de manière à produire la température maximale de jonction de thyristor en fonctionnement permanent.

Soumettre la valve ou les sections de valve à une application du nombre spécifié de boucles de courant de défaut présentant la valeur de crête et la durée de conduction spécifiées. La valve ou les sections de valve doivent être soumises à une tension inverse entre les boucles de courant de défaut mais ne doivent pas être soumises à une tension de blocage directe en déclenchant les thyristors de façon continue.

La valeur présumée de la tension de rétablissement inverse à courant nul pour l'avant-dernière boucle de courant de défaut U_{tfvr} doit être déterminée de la façon suivante:

$$U_{\text{tfvr}} = U_{\text{v0max}} \times \sqrt{2} \sin \psi \times k_n \times k_r \times k_{18}$$

où

U_{v0max} est la tension maximale à vide entre phases en régime permanent du côté valve du transformateur;

ψ est la fraction, en degrés, d'un cycle de la forme d'onde de service, par laquelle le courant nul de l'avant-dernière boucle de courant de défaut précède le passage au zéro de la tension dans le sens positif;

k_n est le facteur d'échelle d'essai selon 4.3.2;

k_r est le facteur de surtension temporaire;

k_r est la valeur déterminée à partir d'études du système;

k_{18} est le facteur de sécurité d'essai;

$k_{18} = 1,05$.

Le nombre de boucles de courant de défaut doit être déterminé en fonction de la durée de fonctionnement du disjoncteur primaire utilisé pour couper les courants de court-circuit dans le convertisseur. La durée de fonctionnement doit inclure la détection du défaut et les retards de signalisation ainsi que la durée d'élimination de défaut du disjoncteur.

La valeur de crête et la durée de conduction des boucles de courant de défaut doivent être déterminées suivant la définition donnée en 11.3.2, sauf que, pour toutes les boucles de défaut suivant la première, l'angle de retard de déclenchement doit être de 0°.

La valeur de k_r doit être déterminée selon la description donnée en 11.3.2.

12 Essais d'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques

12.1 Objectif des essais

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

Généralement, l'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques peut être vérifiée en surveillant la valve pendant d'autres essais de type. Parmi ceux-ci, les essais de valve sous tension de choc (8.3.3 à 8.3.5) et l'essai d'allumage non périodique de valve (8.4) sont les plus importants dans la mesure où les événements qu'ils reproduisent peuvent survenir en fonctionnement normal du poste de conversion et qu'ils ne provoquent normalement pas le déclenchement du poste de conversion.

Il convient que les essais démontrent les points suivants:

- a) aucun déclenchement hors séquence ou intempestif des thyristors ne survient;
- b) les circuits de protection électroniques installés dans la valve fonctionnent comme prévu;
- c) aucune indication erronée des défauts de niveaux de thyristors ni aucun signal erroné ne sont transmis aux systèmes de commande et de protection du convertisseur par l'électronique de base de la valve, du fait de la réception de données erronées en provenance des circuits de surveillance de la valve.

Dans le cadre de la présente norme, les essais visant à démontrer l'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques s'appliquent uniquement à la valve à thyristors et à la partie du système de transmission de signal reliant la valve à la terre. La démonstration de l'insensibilité aux perturbations électromagnétiques du matériel au potentiel de terre et la caractérisation de la valve en tant que source de perturbations électromagnétiques pour d'autres matériels ne relèvent pas du domaine d'application de la présente norme.

12.2 Objet d'essai

Généralement, les objets d'essai sont la valve ou les sections de valve utilisées pour les autres essais.

Lorsqu'il s'agit de démontrer l'insensibilité aux perturbations électromagnétiques résultant du couplage entre des valves adjacentes dans une UVM, deux approches sont acceptables selon la définition de 12.3. Dans ce cas, l'objet d'essai est, selon l'approche adoptée, une valve ou une section de valve séparée.

12.3 Exigences d'essai

12.3.1 Généralités

Lors de la démonstration de l'insensibilité aux perturbations électromagnétiques résultant du couplage entre des valves adjacentes d'une UVM, les exigences d'essai dépendent de l'approche adoptée parmi les deux approches recommandées.

12.3.2 Première approche

La première approche consiste à simuler la source des perturbations électromagnétiques en l'intégrant directement à un montage d'essai. Ce montage d'essai implique plusieurs valves afin de vérifier leur interaction. La disposition géométrique de la source des perturbations électromagnétiques par rapport à la valve en essai doit être aussi proche que possible de la disposition de service (ou plus défavorable du point de vue des perturbations électromagnétiques).

Le Paragraphe 8.4.2 fournit des détails supplémentaires concernant les exigences dans le cas de l'adoption de la première approche.

12.3.3 Deuxième approche

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

Une condition préalable primordiale de la deuxième approche consiste à déterminer la puissance et la direction du champ dynamique aux emplacements-clés de la valve. Cette détermination est généralement obtenue au moyen de mesurages effectués par une bobine d'exploration au cours d'essais d'allumage réalisés sur une valve unique. Une autre solution consiste à prévoir le champ à l'aide de programmes de modélisation de champ en trois

dimensions. Une section de valve doit ensuite être soumise à essai en utilisant une bobine de champ séparée pouvant produire une intensité de champ, des composantes et une direction fréquentielles présentant une sévérité au moins égale aux valeurs prévues.

Les conditions suivantes doivent être remplies pour la section de valve en essai:

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

12.3.4 Critères d'acceptation

Les critères d'acceptation pour les deux approches doivent être conformes à ceux décrits en 12.1.

13 Essai de caractéristiques spéciales et tolérance aux pannes

13.1 Objectif des essais

13.1.1 Généralités

Ces essais sont destinés à vérifier la conception et les caractéristiques de fonctionnement de toutes les caractéristiques spéciales de la valve. Les caractéristiques spéciales peuvent inclure, sans toutefois s'y limiter, les caractéristiques des deux catégories suivantes.

13.1.2 Circuits prévus pour faciliter la commande, la protection et la surveillance correctes de la valve

Généralement, ces caractéristiques peuvent être démontrées dans le cadre des autres essais.

13.1.3 Caractéristiques incluses dans la valve pour permettre une tolérance aux pannes

La capacité de tolérance aux pannes peut être définie comme l'aptitude d'une valve à thyristors CCHT à remplir sa fonction prévue, jusqu'à l'arrêt programmé, avec des composants ou sous-systèmes défectueux ou des composants surchargés, sans provoquer de défaillance inacceptable des autres composants, ni étendre le dommage en raison de la condition défectueuse. Des caractéristiques spéciales peuvent être exigées dans la conception pour garantir la tolérance aux pannes. Des exemples de défauts pour lesquels une tolérance aux pannes peut être exigée comportent, sans y être limités, ceux qui sont donnés ci-dessous.

a) Court-circuit d'un thyristor

Même si un thyristor court-circuité shunte les autres composants au niveau du thyristor, dans certaines conceptions, il peut exister un danger de surcharge des transformateurs d'impulsions de porte, de surcharge des connexions de courant (quand des thyristors en parallèle sont utilisés) ou de modification de la charge de serrage.

b) Fonctionnement permanent de l'allumage de protection pour un niveau de thyristor, engendré par la perte d'impulsions d'allumage normales à ce niveau.

Le fonctionnement permanent de l'allumage de protection peut provoquer une surcharge de la résistance d'amortissement et d'autres composants au niveau affecté.

c) Défaut d'isolation d'un transformateur d'impulsions (dans le cas d'alimentation de deux thyristors ou plus, connectés en série), d'un condensateur d'amortissement, d'une résistance d'amortissement ou d'un condensateur de répartition.

Le défaut d'isolation d'un composant quelconque en parallèle avec les thyristors peut attirer le courant de charge dans celui-ci, provoquant une situation dangereuse.

d) Fuite de petites quantités de fluide de refroidissement de valve

Si la valve est refroidie par un liquide, de petites fuites peuvent ne pas être facilement détectées. Une fuite de fluide de refroidissement peut contaminer des composants sensibles, provoquant un dysfonctionnement, et peut augmenter la probabilité de défaut d'isolation.

L'acheteur doit revoir la conception proposée avec le fournisseur afin de déterminer la probabilité et les conséquences probables de certaines défaillances. Le cas échéant, il doit être pris en compte, dans le programme d'essais de type, l'aptitude des essais spécifiques à vérifier les aspects critiques de la capacité de tolérance aux pannes de la valve. Ces essais doivent faire l'objet d'un accord au cas par cas entre l'acheteur et le fournisseur.

13.2 Objet d'essai

Les essais peuvent être réalisés sur une valve complète, sur une section de valve ou sur des parties correspondantes de chaque.

13.3 Exigences d'essai

Les procédures d'essai et les critères d'acceptation doivent être choisis en tenant compte de la conception réelle de la valve. Il doit être démontré que les composants ou circuits impliqués se comportent comme prévu.

14 Essais de série

14.1 Généralités

Le présent article traite des essais réalisés sur des ensembles de composants faisant partie des valves, sections de valve ou sur des circuits auxiliaires destinés à leur protection, leur commande et leur surveillance. Il ne couvre pas les essais réalisés sur des composants individuels utilisés à l'intérieur de la valve, du support de valve ou de la structure de valve. Les essais de série peuvent inclure des essais individuels de série ainsi que des essais sur prélèvement. Dans le présent article, seuls les objectifs des essais individuels de série sont indiqués.

NOTE Dans certains cas, il pourrait être nécessaire de réaliser les essais sur prélèvement sur des ensembles complets en plus des essais individuels de série, par exemple lorsque des modifications ont été introduites au cours de la production pour vérifier que la valve conserve ses performances sans écart par rapport à sa conception originale ayant subi les essais de type. Le programme des essais sur prélèvement fait l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur.

14.2 Objectif des essais

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

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

14.3 Objet d'essai

Toutes les sections de valve ou leurs parties fabriquées dans le cadre du projet doivent être soumises à des essais individuels de série. Pour les essais sur prélèvement, il convient que l'objet d'essai fasse l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur.

14.4 Exigences d'essai

L'uniformité des essais de série spécifiés des différents fournisseurs n'est pas nécessaire. Les essais de série doivent tenir compte des caractéristiques de conception spécifiques de la valve et de ses composants, de la portée des essais réalisés sur les composants avant l'assemblage, et des procédures et techniques de fabrication particulières impliquées. Dans tous les cas, le fournisseur doit soumettre, pour approbation par l'acheteur, une description détaillée des procédures d'essai proposées pour satisfaire aux objectifs des essais de série.

Les exigences minimales relatives aux essais individuels de série sont répertoriées en 14.5. L'ordre dans lequel les essais sont répertoriés ne reflète ni un classement par ordre d'importance, ni l'ordre dans lequel il convient de les réaliser.

14.5 Exigences minimales des essais individuels de série

14.5.1 Examen visuel

Vérifier que tous les matériaux et composants sont intacts et sont correctement installés, conformément à la dernière révision approuvée de la documentation de production.

14.5.2 Vérification de la connexion

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

14.5.3 Vérification du circuit de répartition des potentiels

Vérifier les paramètres du circuit de répartition et assurer ainsi que la division de tension entre les thyristors connectés en série est adaptée pour les tensions appliquées à partir du courant continu aux formes d'onde de choc.

14.5.4 Vérification de la tenue en tension

Vérifier que les composants de la valve peuvent résister à la tension correspondant à la valeur maximale spécifiée pour la valve.

14.5.5 Essais de décharge partielle

Pour démontrer que la fabrication est correcte, l'acheteur et le fournisseur doivent convenir des composants et des sous-ensembles critiques pour la conception, et des essais appropriés de décharge partielle doivent être réalisés.

14.5.6 Vérification des auxiliaires

Vérifier que les auxiliaires (tels que les circuits de surveillance et de protection) présents à chaque niveau de thyristor et ceux qui sont communs à la valve complète (ou à la section de valve) fonctionnent correctement.

14.5.7 Vérification de l'allumage

Vérifier que le thyristor dans chaque niveau de thyristor s'amorce correctement en réponse aux signaux d'allumage.

14.5.8 Essai de pression

Vérifier qu'il n'existe aucune fuite de fluide de refroidissement (pour les valves refroidies par liquide uniquement).

15 Méthode de détermination des pertes

La procédure de détermination des pertes pour les valves à thyristors CCHT est spécifiée dans l'IEC 61803.

16 Présentation des résultats des essais de type

Le rapport d'essai doit être émis conformément aux lignes directrices générales indiquées dans le Guide 25 de l'ISO/IEC et doit inclure les informations suivantes:

- le nom et l'adresse du laboratoire et le lieu de réalisation des essais;
- le nom et l'adresse de l'acheteur;
- l'identification sans ambiguïté de l'objet d'essai, comprenant le type et les valeurs assignées, le numéro de série et toute autre information destinée à identifier l'objet d'essai;
- les dates de réalisation des essais;
- la description des circuits d'essai et des procédures d'essai utilisées pour la réalisation des essais;
- la référence aux documents normatifs et, le cas échéant, une description claire des écarts par rapport aux procédures indiquées dans les documents normatifs;
- la description du matériel d'essai et l'indication de l'incertitude de mesure;
- les résultats d'essai sous la forme de tableaux, graphiques, oscillogrammes et photographies selon le cas;
- la description de la défaillance du matériel ou du composant.

Annexe A (normative)

Facteurs de sécurité d'essai

A.1 Généralités

Les valves à thyristors sont conçues pour résister aux contraintes qu'elles sont susceptibles de subir dans des conditions de fonctionnement CCHT spécifiées. Pour vérifier la conception de la valve, des essais diélectriques et des essais de fonctionnement sont réalisés. Les niveaux d'essai de type incluent des facteurs de sécurité d'essai assurant que les essais reproduisent de façon prudente les contraintes de service les plus défavorables.

Les essais et niveaux d'essai peuvent avoir des conséquences très néfastes sur le plan économique, en particulier lorsque des essais inutiles ou des niveaux d'essai non réalistes sont spécifiés sans augmenter pour autant les caractéristiques fonctionnelles de la valve. Les facteurs de sécurité d'essai utilisés dans la présente norme ont été établis en vue de refléter des exigences réalistes et pratiques permettant d'assurer une conception de valve économique et adaptée à l'application prévue.

Les facteurs de sécurité d'essai intègrent les incertitudes de mesure au cours de l'essai et, le cas échéant, une marge de protection. La marge de protection assure une tolérance concernant l'incertitude de prédiction de la contrainte de service maximale ainsi que toute réduction de la capacité du matériel au fil du temps, en raison du vieillissement.

Lorsque des essais de type sont réalisés conformément à l'IEC 60060-1, les incertitudes de mesure s'élèvent à 3 % pour les erreurs de mesure et à 3 % supplémentaires pour la tolérance de niveau d'essai.

L'incertitude au niveau de la prédiction des contraintes de service maximales dépend de plusieurs facteurs et hypothèses, tandis que l'endommagement dû au vieillissement dépend du matériau et de l'application. Il n'existe aucun facteur quantitatif universellement applicable pour ces paramètres mais la pratique établie, reposant sur une expérience de service acceptable, fournit une base de jugement.

Un examen de la pratique normalisée concernant le matériel haute tension, des pratiques courantes relatives aux essais de valves à thyristors CCHT ainsi que l'expérience de fonctionnement, tenant compte des caractéristiques spéciales des valves à thyristors, ont permis de définir des valeurs appropriées des facteurs de sécurité d'essai à utiliser. Ces derniers sont traités dans les Articles A.2 et A.3 ci-dessous.

A.2 Facteurs de sécurité d'essai pour essais diélectriques

A.2.1 Essais de tension de choc

A.2.1.1 Approche de base

Les facteurs de sécurité des essais de tension de choc utilisés dans la présente norme sont basés sur les hypothèses suivantes:

- a) les parafoudres à oxyde métallique constituent les dispositifs de protection primaires contre les surtensions et sont connectés directement entre les bornes de chaque valve pour minimiser les effets de séparation de tension de choc;
- b) tous les thyristors redondants sont court-circuités durant les essais.

Selon le critère de redondance de valve, une nouvelle valve, dont tous les thyristors redondants sont court-circuités, doit toujours être en mesure de satisfaire aux caractéristiques

fonctionnelles des essais de type spécifiées. Les caractéristiques fonctionnelles spécifiées sont établies à partir d'études analytiques considérant les modes et exigences de fonctionnement admissibles.

Comme pour d'autres matériels électroniques de puissance conventionnels, les coûts des valves sont influencés par les essais de type et les niveaux d'essai associés. Pour les essais de tension de choc, le coût d'une valve à thyristors est presque directement proportionnel au niveau d'essai de tenue aux tensions de choc exigé. En outre, les pertes de puissance associées en service sont aussi presque directement proportionnelles au niveau d'essai de tension de choc. Compte tenu des avantages concernant les coûts et les pertes des niveaux d'essai d'optimisation, les spécifications de 8.3.3 de la présente norme permettent d'appliquer les variantes suivantes pour ce qui concerne les essais de tension de choc entre les bornes de valve.

- a) Appliquer un facteur de sécurité d'essai de 1,10 pour les essais de tension de choc de foudre et de manœuvre et un facteur de sécurité d'essai de 1,15 pour l'essai de tension de choc à front raide. De plus, les essais de tension de choc sont répétés avec un facteur de sécurité d'essai de 1,15 pour les essais de tension de choc de foudre et de manœuvre et un facteur de sécurité d'essai de 1,2 pour l'essai de tension de choc à front raide, en remplaçant tous les thyristors par des blocs isolants.
- b) Appliquer un facteur de sécurité d'essai de 1,15 pour les essais de tension de choc de foudre et de manœuvre et un facteur de sécurité d'essai de 1,2 pour l'essai de tension de choc à front raide.

La variante b) reflète la pratique la plus courante dans l'industrie à ce jour et correspond à une augmentation de la marge de sécurité d'essai effective pour les thyristors et le matériel de niveaux de thyristors associé par rapport à la précédente édition de la présente norme. La variante a) propose une conception plus économique en limitant la tension maximale devant être supportée par les thyristors tout en conservant toutes les marges de sécurité d'essai de la variante b) pour toute isolation en parallèle avec les thyristors.

Les facteurs de sécurité d'essai adoptés pour les deux variantes d'essais de tension de choc reposent sur des caractéristiques de fonctionnement des valves satisfaisantes et sur des calculs indiquant que les facteurs de sécurité d'essai utilisés fournissent des marges de sécurité adaptées fondées sur les connaissances et l'expérience actuelles dans le secteur industriel.

Le choix de la variante d'essai de tension de choc appartient à l'acheteur et se fonde sur les considérations de rentabilité (coûts-avantages) relatives à l'application spécifique. Les Paragraphes A.2.1.2 et A.2.1.3 ci-dessous fournissent des informations de base.

A.2.1.2 Pratique et expérience antérieures

L'édition précédente de la présente norme spécifiait un facteur de sécurité d'essai de 1,15 pour les essais de tension de choc de foudre et de manœuvre réalisés avec des niveaux de thyristors redondants de 3 % maximum non court-circuités. Le facteur de sécurité d'essai effectif pour des thyristors dans des valves présentant une redondance de 3 % était donc de 1,117.

Un examen des enregistrements des caractéristiques de fonctionnement de la valve en service ainsi que des facteurs de sécurité d'essai utilisés pour les essais de tension de choc a montré que, pour la majorité des projets en place dans le monde, les valves ont été soumises à essai en utilisant un facteur de sécurité d'essai de 1,15, en court-circuitant la redondance, ce qui correspond à la variante b) de A.2.1.1 ci-dessus. L'expérience en service pour ces projets s'est révélée très positive.

L'examen a montré également qu'il existe un nombre important de projets pour lesquels les essais ont été réalisés avec un facteur de sécurité d'essai de 1,15 sans modifier la redondance jusqu'à 3 %, ou bien pour lesquels la valeur du facteur de sécurité d'essai a été réduite, généralement à 1,10. Dans un cas, un facteur de sécurité d'essai de 1,10 sans modification de

la redondance de 3 % a été utilisé (correspondant à un facteur de sécurité d'essai effectif de 1,067 pour les thyristors). Les enregistrements des caractéristiques de fonctionnement en service pour ces projets se révèlent également très satisfaisants.

Sur la base d'une expérience en service et d'après d'autres enquêtes réalisées jusqu'à présent, les propriétés d'isolement des thyristors n'indiquent aucune tendance de vieillissement rapide en service. D'autre part, l'industrie reconnaît, en général, que les matériaux isolants classiques vieillissent en service. Du fait qu'une valve à thyristors comporte des matériaux isolants classiques ainsi que des thyristors, les effets du vieillissement de ces matériaux doivent être pris en compte lors de l'établissement des facteurs de sécurité d'essai. Pour cette raison, alors qu'il est possible d'utiliser un autre facteur de sécurité d'essai de 1,10 pour les thyristors, la norme doit exiger un essai de tension de choc sur tous les composants de la valve, à l'exception des thyristors, à des niveaux d'essai correspondant aux facteurs de sécurité d'essai de 1,15 pour les tensions de choc de foudre et de manœuvre et de 1,2 pour les tensions de choc à front raide. Il s'agit de la base de la variante a) indiquée en A.2.1.1 ci-dessus.

A.2.1.3 Évaluation des autres facteurs de sécurité d'essai pour les essais de tension de choc

Dans le cadre d'une vérification indépendante, les facteurs de sécurité d'essai choisis ont été évalués afin de définir leur capacité à assurer les meilleures estimations des facteurs connus contribuant à l'incertitude de mesure et des composantes de la marge de protection du facteur de sécurité d'essai.

L'adéquation des facteurs de sécurité d'essai a été évaluée par les moyens suivants.

- a) Tous les facteurs liés aux incertitudes de mesure et à la marge de protection ont été considérés comme statistiquement indépendants.
- b) D'un point de vue probabiliste, il a été estimé irréaliste de supposer que tous les facteurs étaient orientés dans la même direction et simultanément pour leurs valeurs maximales.
- c) Il a été supposé que les facteurs impliqués pourraient être combinés par une somme quadratique (racine carrée de la somme des carrés) (RSS). Une vérification a été faite afin d'assurer l'application de la relation suivante:

$$k_s \geq 1 + \sqrt{\sum k_n^2} \quad (\text{évaluer } n = 1 \text{ à } n)$$

où

k_s est le facteur de sécurité d'essai;

n est le nombre de facteurs;

$k_n =$ par valeur unitaire de chaque facteur n (moins de 1,0).

- d) Les facteurs considérés pour les essais de tension de choc de foudre et de manœuvre ainsi que leurs valeurs associées sont les suivants:
 - erreur de mesure de la tension d'essai (0,03 selon l'IEC 60060);
 - tolérance relative à la tension d'essai (0,03 selon l'IEC 60060);
 - tolérance de mesure pour la caractéristique du parafoudre (0,03 selon l'IEC 60060);
 - prise en compte du vieillissement du parafoudre (0,05 selon l'IEC 60099);
 - incertitudes d'étude – cas le plus défavorable (0,03) estimé;
 - prise en compte de formes d'ondes non normalisées (0,03) estimées;
 - prise en compte du vieillissement de l'isolation (0,10 ou 0).
- e) En appliquant la relation RSS de c), avec pour hypothèse un facteur de vieillissement de l'isolation de 0,1 pour des matériaux classiques, alors:

$$1 + \sqrt{\sum k_n^2} = 1,13$$

Pour un facteur de sécurité d'essai de 1,15 spécifié, la contingence de tout facteur non autorisé ou des erreurs au niveau des facteurs autorisés s'élève à:

$$\sqrt{0,15^2 - 0,13^2} = 0,075$$

Si l'isolation ne présente pas de vieillissement significatif, comme c'est le cas pour les thyristors, alors:

$$1 + \sqrt{\sum k_n^2} = 1,084$$

Pour un facteur de sécurité d'essai de 1,10 spécifié, la contingence de tout facteur non autorisé ou des erreurs au niveau des facteurs autorisés s'élève à:

$$\sqrt{0,10^2 - 0,084^2} = 0,055$$

Sur la base des hypothèses formulées, le choix de la variante b) indiquée en A.2.1.1 fournit une marge de contingence inhérente de 7,5 % à la fois pour les thyristors et pour d'autres matériaux, et ne fournit aucune supposition concernant les différents mécanismes de vieillissement des thyristors et des matériaux isolants classiques.

Le choix de la variante a) indiquée en A.2.1.1 fournit une marge de contingence inhérente de 7,5 % pour tous les matériaux à l'exception des thyristors ainsi qu'une tolérance de contingence de 5,5 % pour les thyristors en supposant que le vieillissement des thyristors puisse être négligé.

Le coût en capital et les pertes d'exploitation des valves à thyristors conçues et soumises à essai selon la variante a) sont inférieurs d'environ 4,5 % aux chiffres obtenus avec la variante b).

A.2.2 Essais sous tension alternative et continue temporaire et de longue durée

La résistance des matériaux diélectriques de la valve ne peut pas être démontrée au cours des essais de type de valve. Il est plus approprié d'effectuer cette opération dans le cadre d'une conception séparée ou d'essais de développement. Cependant, les essais de type sous tension alternative et continue démontrent bien les capacités de tenue de la valve aux surtensions temporaires et de longue durée. Les niveaux et les durées d'essai reflètent, dans une large mesure, la philosophie et les pratiques d'essai en courant alternatif et continu établies pour les matériaux diélectriques classiques. Les caractéristiques fonctionnelles de décharge partielle sont couramment utilisées pour indiquer la qualité de l'isolation (voir Annexe B). La norme exige donc de vérifier la qualité de l'isolation au cours d'essais de tension alternative et continue en mesurant les décharges partielles.

Dans le cas de l'essai de valve sous tension alternative de courte durée, l'essai peut de manière non réaliste créer une contrainte excessive sur les composants de valves dans le sens inverse car, pour des raisons pratiques, l'essai doit être réalisé avec un courant alternatif (produisant ainsi une grande zone tension-temps) mais la condition de service engendre uniquement une courte durée en haute tension (dépassement de commutation). Pour cette raison, un facteur de sécurité d'essai inférieur par rapport à la pratique normale est utilisé. Le facteur de sécurité d'essai k_8 est fondé sur l'erreur de mesure de la tension (3 %), la tolérance relative à la tension d'essai (3 %), la tolérance de mesure des caractéristiques du parafoudre (3 %), la prise en compte du vieillissement du parafoudre (5 %) et une marge de contingence inhérente, ou la prise en compte d'autres effets inconnus (7,5 %).

A.3 Facteurs de sécurité d'essai pour essais de fonctionnement

Les facteurs de sécurité des essais de fonctionnement s'appliquent aux contraintes combinées de tension et de courant survenant au cours d'un fonctionnement en régime permanent, pour des surcharges et des conditions de défaut spécifiées. Les tensions et courants d'essai à considérer sont ceux obtenus à partir des conditions de fonctionnement les plus défavorables en régime permanent. En général, il est seulement nécessaire de prendre en compte les incertitudes de mesure dans les facteurs de sécurité d'essai:

$$k_s = 1 + \sqrt{0,03^2 + 0,03^2} = 1,042, \text{ arrondi à } 1,05$$

Pour les essais sous tension alternative minimale, le facteur de sécurité d'essai correspondant est:

$$k_s = 1 - \sqrt{0,03^2 + 0,03^2} = 0,957, \text{ arrondi à } 0,95$$

Pour les essais de courant de défaut, aucun facteur de sécurité d'essai spécifique n'est nécessaire ($k_s = 1,0$).

Cela se justifie par le fait que:

- a) les essais sont réalisés avec des amplitudes de courant de défaut au moins équivalentes du point de vue de la sévérité au courant défini comme le plus défavorable selon les calculs ou études du système, en utilisant la coïncidence des facteurs les plus défavorables selon la description donnée en 11.3.2 sans moyenne statistique;
- b) un facteur de sécurité d'essai de 1,05 est appliqué à la tension à bloquer après le courant de défaut.

Annexe B (normative)

Mesurages de décharge partielle

B.1 Mesurage de décharge partielle

La qualité de l'isolation au niveau du support de valve, entre la valve de potentiel le plus élevé et la terre, et entre les bornes de la valve, doit être vérifiée au cours d'essais de tension alternative et/ou continue par mesurage des décharges partielles. L'expérience actuelle dans l'application des valves CCHT indique que d'autres techniques telles que les mesurages RIV (tension d'interférence, *radio interference voltage* en anglais) sont moins indicatives pour le but recherché.

Les mesurages de décharge partielle doivent être réalisés conformément à l'IEC 60270.

B.2 Décharge partielle au cours d'essais en courant alternatif

La sensibilité des mesurages de décharge partielle pour une tension alternative dépend de la capacité de l'objet d'essai et de l'amplitude du bruit de fond. Dans la plupart des valves, la capacité entre les bornes des valves est importante (principalement en raison de la présence des condensateurs d'amortissement) comparée à la capacité parasite entre les bornes pour d'autres équipements. Les valeurs typiques des valves à thyristors sont de l'ordre de plusieurs centaines de nanofarads et pour d'autres équipements, de l'ordre de plusieurs dizaines de picofarads. Par conséquent, il peut se révéler nécessaire d'appliquer des techniques de mesure spéciales pour satisfaire aux objectifs de l'essai.

Les circuits d'essai couramment acceptés pour le mesurage des décharges partielles sur un grand appareil isolé par l'air ne séparent pas la décharge partielle dans l'air environnant (effet de couronne), qui pourrait être acceptable, des décharges de part et d'autre ou au travers d'une isolation non régénératrice. Par conséquent, l'établissement d'une limite absolue pour la valeur de décharge partielle de la valve complète ne suffit pas pour obtenir un résultat fiable. Pour une valve isolée par l'air, une décharge partielle de 200 pC maximum est normalement sans conséquence en ce qui concerne la décharge dans l'air environnant, mais elle se situe au-dessus du seuil de sécurité pour des décharges au niveau d'une isolation organique.

Pour cette raison, mais également du fait que l'essai diélectrique en courant alternatif sur une valve complète ou sur un support de valve ne provoque aucune contrainte sur l'ensemble des composants (par exemple, résistances d'amortissement, bobines d'inductance saturables, etc.), il est recommandé de réaliser le mesurage de décharge partielle sur tous les composants ou sous-ensembles critiques identifiés par le fournisseur. Le but des mesurages de décharge partielle sur une valve complète ou sur un support de valve au cours d'essais diélectriques consiste alors à vérifier qu'il n'existe aucune interaction néfaste entre des composants individuels ou des niveaux élevés de décharge partielle dans l'air. À l'exception de ce qui est indiqué à l'Article B.4 ci-dessous, la valeur maximale de la décharge partielle pour une valve complète ou un support de valve au cours d'essais en courant alternatif doit être de 200 pC à condition que la valve soit isolée par l'air et que la décharge partielle s'inscrive dans les limites individuelles des composants critiques, d'après la démonstration de l'essai de composant.

B.3 Décharge partielle au cours d'essais en courant continu

Il est indiqué dans l'IEC 60270 qu'il n'existe aucune méthode globalement acceptée pour la détermination de l'amplitude de la décharge partielle au cours des essais sous tension continue.

Les contraintes diélectriques dans des conditions de courant continu en régime permanent sont déterminées par la résistivité du matériau isolant plutôt que par la constante diélectrique. En raison de la valeur élevée de la résistivité, la constante de temps du système est plutôt longue, et les décharges partielles dans des conditions de courant continu ont donc tendance à se caractériser par des impulsions d'amplitude relativement élevée (plusieurs centaines à plusieurs milliers de pC) pour une fréquence de récurrence faible (de quelques secondes à quelques minutes).

Pour la présente norme, la qualité de l'isolation est vérifiée au cours d'essais sous tension continue en comptant le nombre de décharges partielles par unité de temps dépassant les niveaux spécifiés. Cela signifie que, en général, les circuits d'essai et les instruments de mesure utilisés avec des tensions alternatives peuvent également être utilisés avec des tensions continues, en ajoutant cependant un compteur d'impulsions à plusieurs niveaux. Les niveaux et durées d'essai sous tension continue, ainsi que les limites d'acceptation des décharges partielles indiquées dans la présente norme, sont basés sur les considérations suivantes:

- contraintes de service prévues, à la fois en fonctionnement normal et au cours de défaillances;
- expérience de service et d'essai antérieure;
- reconnaissance du fait que les valves à thyristors comportent de nombreux matériaux diélectriques différents dont les constantes de temps s'étalent sur toute la plage des valeurs possibles;
- reconnaissance du fait que des essais de plus courte durée avec des facteurs de sécurité d'essai supérieurs imposent des contraintes excessives et non représentatives sur les composants de valve à constantes de temps réduites;
- reconnaissance du fait que l'amplitude des décharges partielles et le nombre par période de temps sont normalement supérieurs en utilisant une polarité positive plutôt qu'une polarité négative;
- reconnaissance du fait que, à la suite de l'application initiale d'une polarité opposée, il est possible de prévoir une quantité de décharges partielles plus importante que celle apparaissant pour une contrainte de tension continue en régime permanent. Il convient de réduire la valeur de la décharge partielle en fonction du temps après le choix d'une polarité opposée.

B.4 Contrainte de tension composite alternative et continue

Le matériel d'un convertisseur CCHT est souvent soumis à une forme d'onde de tension de service comprenant à la fois des composantes en courant alternatif et continu.

En raison de difficultés pratiques et du manque d'expérience en matière de mesurage de décharge partielle sous tensions composites, la présente norme spécifie des essais séparés en tension alternative et continue. Une des conséquences de cette approche est que, pour tenter de reproduire la contrainte de tension de crête correcte, les composants soumis en service à une contrainte en courant continu principalement, avec seulement une faible composante de courant alternatif, sont soumis, durant toute la durée de l'essai sous tension alternative, à une excursion de tension crête à crête beaucoup plus élevée que celle rencontrée en service. Étant donné que la décharge partielle avec une contrainte de tension alternative est fortement influencée par l'excursion de tension de crête à crête, les essais spécifiés ne sont pas réalistes dans les cas où la contrainte de service est principalement en courant continu.

Deux cas se présentent:

- a) à travers le support de valve lorsque le support est fixé à un jeu de barres autre que la barre neutre en courant continu ou un potentiel de connexion en courant alternatif de pont à six impulsions inférieur;
- b) à travers deux bornes quelconques d'une UVM entre lesquelles se trouvent deux valves ou plus connectées en série présentant la même phase.

Pour les deux cas ci-dessus, les valeurs enregistrées correspondant aux décharges partielles dépassant 200 pC, au cours de l'essai de tension alternative de longue durée, n'indiquent pas nécessairement une conception inadéquate. Pour cette raison, si des valeurs de décharge partielle dépassant 200 pC sont enregistrées, les résultats d'essai doivent être évalués par l'acheteur et le fournisseur afin d'estimer l'influence éventuelle des valeurs observées sur la résistance du matériel en service.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch