

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



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

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



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

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

Tel.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://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.

#### Useful links:

IEC publications search - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

The advanced search enables you 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

Electropedia - [www.electropedia.org](http://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 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://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](mailto:csc@iec.ch).

### A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

#### Liens utiles:

Recherche de publications CEI - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI 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.

Just Published CEI - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne au monde 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 les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://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](mailto:csc@iec.ch).

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



---

### Static var compensators (SVC) – Testing of thyristor valves

### Compensateurs statiques de puissance réactive (SVC) – Essais des valves à thyristors

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 29.240.99; 31.080.20

ISBN 978-2-8322-0792-5

|                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.</b></p> <p><b>Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.</b></p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## CONTENTS

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                       | 5  |
| 1 Scope.....                                                        | 7  |
| 2 Normative references.....                                         | 7  |
| 3 Terms and definitions .....                                       | 7  |
| 4 General requirements for type, production and optional tests..... | 9  |
| 4.1 Summary of tests.....                                           | 9  |
| 4.2 Objectives of tests .....                                       | 10 |
| 4.2.1 General .....                                                 | 10 |
| 4.2.2 Dielectric tests .....                                        | 10 |
| 4.2.3 Operational tests .....                                       | 10 |
| 4.2.4 Electromagnetic interference tests .....                      | 11 |
| 4.2.5 Production tests.....                                         | 11 |
| 4.2.6 Optional tests .....                                          | 11 |
| 4.3 Guidelines for the performance of type and optional tests.....  | 11 |
| 4.4 Test conditions .....                                           | 12 |
| 4.4.1 General .....                                                 | 12 |
| 4.4.2 Valve temperature at testing .....                            | 13 |
| 4.4.3 Redundant thyristor levels.....                               | 13 |
| 4.5 Permissible component failures during type testing .....        | 14 |
| 4.6 Documentation of test results.....                              | 14 |
| 4.6.1 Test reports to be issued .....                               | 14 |
| 4.6.2 Contents of a type test report .....                          | 15 |
| 5 Type tests on TCR and TSR valves.....                             | 15 |
| 5.1 Dielectric tests between valve terminals and earth .....        | 15 |
| 5.1.1 General .....                                                 | 15 |
| 5.1.2 AC test .....                                                 | 16 |
| 5.1.3 Lightning impulse test .....                                  | 16 |
| 5.2 Dielectric tests between valves (MVU only) .....                | 17 |
| 5.2.1 General .....                                                 | 17 |
| 5.2.2 AC test .....                                                 | 17 |
| 5.2.3 Lightning impulse test .....                                  | 18 |
| 5.3 Dielectric tests between valve terminals .....                  | 18 |
| 5.3.1 General .....                                                 | 18 |
| 5.3.2 AC test .....                                                 | 18 |
| 5.3.3 Switching impulse test .....                                  | 20 |
| 5.4 Operational tests .....                                         | 21 |
| 5.4.1 Periodic firing and extinction test.....                      | 21 |
| 5.4.2 Minimum a.c. voltage test .....                               | 22 |
| 5.4.3 Temperature rise test.....                                    | 23 |
| 6 Type tests on TSC valves .....                                    | 23 |
| 6.1 Dielectric tests between valve terminals and earth .....        | 23 |
| 6.1.1 General .....                                                 | 23 |
| 6.1.2 AC-DC test .....                                              | 24 |
| 6.1.3 Lightning impulse test .....                                  | 26 |

|        |                                                      |    |
|--------|------------------------------------------------------|----|
| 6.2    | Dielectric tests between valves (for MVU only) ..... | 26 |
| 6.2.1  | General .....                                        | 26 |
| 6.2.2  | AC-DC test .....                                     | 26 |
| 6.2.3  | Lightning impulse test .....                         | 28 |
| 6.3    | Dielectric tests between valve terminals .....       | 29 |
| 6.3.1  | General .....                                        | 29 |
| 6.3.2  | AC-DC test .....                                     | 29 |
| 6.3.3  | Switching impulse test .....                         | 31 |
| 6.4    | Operational tests .....                              | 32 |
| 6.4.1  | Overcurrent tests .....                              | 32 |
| 6.4.2  | Minimum a.c. voltage test .....                      | 35 |
| 6.4.3  | Temperature rise test.....                           | 36 |
| 7      | Electromagnetic interference tests .....             | 36 |
| 7.1    | Objectives .....                                     | 36 |
| 7.2    | Test procedures .....                                | 36 |
| 7.2.1  | General .....                                        | 36 |
| 7.2.2  | Switching impulse test .....                         | 37 |
| 7.2.3  | Non-periodic firing test.....                        | 37 |
| 8      | Production tests.....                                | 37 |
| 8.1    | General .....                                        | 37 |
| 8.2    | Visual inspection .....                              | 37 |
| 8.3    | Connection check .....                               | 37 |
| 8.4    | Voltage-dividing/damping circuit check.....          | 38 |
| 8.5    | Voltage withstand check .....                        | 38 |
| 8.6    | Check of auxiliaries .....                           | 38 |
| 8.7    | Firing check.....                                    | 38 |
| 8.8    | Cooling system pressure test.....                    | 38 |
| 8.9    | Partial discharge tests .....                        | 38 |
| 9      | Optional tests on TCR and TSR valves .....           | 38 |
| 9.1    | Overcurrent test.....                                | 38 |
| 9.1.1  | Overcurrent with subsequent blocking .....           | 38 |
| 9.1.2  | Overcurrent without blocking.....                    | 39 |
| 9.2    | Positive voltage transient during recovery test..... | 39 |
| 9.2.1  | Objectives .....                                     | 39 |
| 9.2.2  | Test values and waveshapes .....                     | 39 |
| 9.2.3  | Test procedures.....                                 | 40 |
| 9.3    | Non-periodic firing test.....                        | 40 |
| 9.3.1  | Objectives .....                                     | 40 |
| 9.3.2  | Test values and waveshapes .....                     | 40 |
| 9.3.3  | Test procedures.....                                 | 42 |
| 10     | Optional tests on TSC valves .....                   | 42 |
| 10.1   | Positive voltage transient during recovery test..... | 42 |
| 10.1.1 | Test objective .....                                 | 42 |
| 10.1.2 | Test values and waveshapes .....                     | 42 |
| 10.1.3 | Test procedures.....                                 | 42 |
| 10.2   | Non-periodic firing test.....                        | 43 |
| 10.2.1 | Objectives .....                                     | 43 |
| 10.2.2 | Test values and waveshapes .....                     | 43 |
| 10.2.3 | Test procedures.....                                 | 44 |

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 – TSC branch .....                                                    | 33 |
| Figure 2 – One-loop overcurrent.....                                           | 34 |
| Figure 3 – Two-loop overcurrent.....                                           | 35 |
| Table 1 – List of tests.....                                                   | 9  |
| Table 2 – Number of thyristor levels permitted to fail during type tests ..... | 15 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**STATIC VAR COMPENSATORS (SVC) –  
TESTING OF THYRISTOR VALVES**

## FOREWORD

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

**This consolidated version of IEC 61954 consists of the second edition (2011) [documents 22F/217/CDV and 22F/231A/RVC] and its amendment 1 (2013) [documents 22F/274/CDV and 22F/287A/RVC]. It bears the edition number 2.1.**

**The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience. A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1. Additions and deletions are displayed in red, with deletions being struck through.**

International Standard IEC 61954 has been prepared by subcommittee 22F: Power electronics for electrical transmission and distribution systems, of IEC technical committee 22: Power electronics.

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

- a) Definitions of terms “thyristor level”, “valve section”, “valve base electronics” and “redundant thyristor levels” have been changed for clarification.
- b) Conditions of testing thyristor valve sections instead of a complete thyristor valve have been defined.
- c) The requirement has been added that if, following a type test, one thyristor level has become short-circuited, then the failed level shall be restored and this type test repeated.
- d) The time period of increasing the initial test voltage from 50 % to 100 % during type a.c. dielectric tests on TSC, TCR or TSR valves has been set equal to approximately 10 s.
- e) The duration of test voltage  $U_{ts2}$  during type a.c.-d.c. dielectric tests between TSC valve terminals and earth as well as the duration of test voltage  $U_{tvv2}$  during dielectric tests between TSC valves (for MVU only) has been changed from 30 min to 3 h.
- f) The reference on the number of pulses per minute of the periodic partial discharge recorded during a.c.-d.c. dielectric tests on TSC valves and exceeding the permissible level has been deleted.

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

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC 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.

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



## STATIC VAR COMPENSATORS (SVC) – TESTING OF THYRISTOR VALVES

### 1 Scope

This International Standard defines type, production and optional tests on thyristor valves used in thyristor controlled reactors (TCR), thyristor switched reactors (TSR) and thyristor switched capacitors (TSC) forming part of static VAR compensators (SVC) for power system applications. The requirements of the standard apply both to single valve units (one phase) and to multiple valve units (several phases).

Clauses 4 to 7 detail the type tests, i.e. tests which are carried out to verify that the valve design meets the requirements specified. Clause 8 covers the production tests, i.e. tests which are carried out to verify proper manufacturing. Clauses 9 and 10 detail optional tests, i.e. tests additional to the type and production tests.

### 2 Normative references

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

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

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

IEC 60060-2, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

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

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

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

IEC 60700-1:2008, *Thyristor valves for high-voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 1: Electrical testing*

### 3 Terms and definitions

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

#### 3.1

##### **thyristor level**

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

#### 3.2

##### **thyristor (series) string**

series connected thyristors forming one direction of a thyristor valve

### 3.3

#### **valve reactor**

reactor incorporated within some valves for limitation of stresses

NOTE For testing purposes it is considered an integral part of the valve.

### 3.4

#### **valve section**

electrical assembly, comprising a number of thyristors and other components, which exhibits pro-rated electrical properties of a complete thyristor valve but only a portion of the full voltage blocking capability of the thyristor valve and which can be used for tests

### 3.5

#### **thyristor valve**

electrically and mechanically combined assembly of thyristor levels, complete with all connections, auxiliary components and mechanical structures, which can be connected in series with each phase of the reactor or capacitor of a SVC

### 3.6

#### **valve structure**

physical structure which insulates the valves to the appropriate level above earth potential and from each other

### 3.7

#### **valve base electronics**

##### **VBE**

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

### 3.8

#### **multiple valve unit**

##### **MVU**

assembly of several valves in the same physical structure which cannot be separated for test purposes (e.g. three-phase valves)

### 3.9

#### **redundant thyristor levels**

the maximum number of thyristor levels in the 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 either the shutdown of the thyristor valve to replace the failed thyristors, or the acceptance of increased risk of failures

### 3.10

#### **voltage breakover (VBO) protection**

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

## 4 General requirements for type, production and optional tests

### 4.1 Summary of tests

Table 1 lists the tests given in the following clauses and subclauses.

**Table 1 – List of tests**

| Test                                                            | Clause or subclause |       | Test object            |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------|-------|------------------------|
|                                                                 | TCR/TSR             | TSC   |                        |
| Dielectric tests between valve terminals and earth (type tests) |                     |       |                        |
| AC test                                                         | 5.1.2               |       | Valve                  |
| AC-DC test                                                      |                     | 6.1.2 | Valve                  |
| Lightning impulse test                                          | 5.1.3               | 6.1.3 | Valve                  |
| Dielectric tests between valves (MVU only) (type tests)         |                     |       |                        |
| AC test                                                         | 5.2.2               |       | MVU                    |
| AC-DC test                                                      |                     | 6.2.2 | MVU                    |
| Lightning impulse test                                          | 5.2.3               | 6.2.3 | MVU                    |
| Dielectric tests between valve terminals (type tests)           |                     |       |                        |
| AC test                                                         | 5.3.2               |       | Valve                  |
| AC-DC test                                                      |                     | 6.3.2 | Valve                  |
| Switching impulse test                                          | 5.3.3               | 6.3.3 | Valve                  |
| Operational tests (type tests)                                  |                     |       |                        |
| Periodic firing and extinction test                             | 5.4.1               |       | Valve or valve section |
| Overcurrent test                                                |                     | 6.4.1 | Valve or valve section |
| Minimum a.c. voltage test                                       | 5.4.2               | 6.4.2 | Valve or valve section |
| Temperature rise test                                           | 5.4.3               | 6.4.3 | Valve or valve section |
| Electromagnetic interference tests (type tests)                 |                     |       |                        |
| Switching impulse test                                          | 7.2.2               | 7.2.2 | Valve                  |
| Non-periodic firing test                                        | 7.2.3               | 7.2.3 | Valve                  |
| Production tests                                                |                     |       |                        |
| Visual inspection                                               | 8.2                 | 8.2   |                        |
| Connection check                                                | 8.3                 | 8.3   |                        |
| Voltage dividing/damping circuit check                          | 8.4                 | 8.4   |                        |
| Voltage withstand check                                         | 8.5                 | 8.5   |                        |
| Check of auxiliaries                                            | 8.6                 | 8.6   |                        |
| Firing check                                                    | 8.7                 | 8.7   |                        |
| Cooling system pressure test                                    | 8.8                 | 8.8   |                        |
| Partial discharge tests                                         | 8.9                 | 8.9   |                        |
| Optional tests                                                  |                     |       |                        |
| Overcurrent test                                                | 9.1                 |       | Valve or valve section |
| Positive voltage transient during recovery test                 | 9.2                 | 10.1  | Valve or valve section |
| Non-periodic firing test                                        | 9.3                 | 10.2  | Valve                  |

## 4.2 Objectives of tests

### 4.2.1 General

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

### 4.2.2 Dielectric tests

#### 4.2.2.1 General

Tests for the following dielectric stresses are specified:

- a.c. voltage;
- combined a.c. and d.c. voltage (TSC only);
- impulse voltages.

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

#### 4.2.2.2 Tests on valve structure

Tests are defined for the voltage withstand requirements between a valve (with its terminals short-circuited) and earth, and also between valves for MVU. The tests shall demonstrate that

- sufficient clearances have been provided to prevent flashovers;
- there is no disruptive discharge in the insulation of the valve structure, cooling ducts, light guides and other insulation parts of the pulse transmission and distribution systems;
- partial discharge inception and extinction voltages under a.c. and d.c. conditions are above the maximum steady-state operating voltage appearing on the valve structure.

#### 4.2.2.3 Tests between valve terminals

The purpose of these tests is to verify the design of the valve with respect to its capability to withstand overvoltages between its terminals. The tests shall demonstrate that

- sufficient internal insulation has been provided to enable the valve to withstand specified voltages;
- partial discharge inception and extinction voltages under a.c. and d.c. conditions are above the maximum steady-state operating voltage appearing between valve terminals;
- the protective overvoltage firing system (if provided) works as intended;
- the thyristors have adequate  $du/dt$  capability for in-service conditions. (In most cases the specified tests are sufficient; however in some exceptional cases additional tests may be required).

### 4.2.3 Operational tests

The purpose of these tests is to verify the valve design for combined voltage and current stresses under normal and abnormal repetitive conditions as well as under transient fault conditions. They shall demonstrate that, under specified conditions:

- the valve functions properly;

- the turn-on and turn-off voltage and current stresses are within the capabilities of the thyristors and other internal circuits;
- the cooling provided is adequate and no component is overheated;
- the overcurrent withstand capability of the valve is adequate.

#### 4.2.4 Electromagnetic interference tests

The principal objective of these tests is to demonstrate the immunity of the valve to electromagnetic interference from within the valve and from outside the valve. Generally, immunity to electromagnetic interference is demonstrated by monitoring of the valve during other tests.

#### 4.2.5 Production tests

The objective of tests is to verify proper manufacture. The production tests shall demonstrate that

- all materials, components and sub-assemblies used in the valve have been correctly installed;
- the valve equipment functions as intended, and predefined parameters are within prescribed acceptance limits;
- thyristor levels and valve or valve sections have the necessary voltage withstand capability;
- consistency and uniformity in production is achieved.

#### 4.2.6 Optional tests

Optional tests are additional tests which may be performed, subject to agreement between the purchaser and the supplier. The objectives are the same as for the operational tests specified in 4.2.2. The test object is normally one valve or appropriate equivalent number of valve sections.

### 4.3 Guidelines for the performance of type and optional tests

The following principles shall apply:

- type tests shall be performed on at least one valve or on an appropriate number of valve sections, as indicated in Table 1 (see 4.1), to verify that the valve design meets the specified requirements. All type tests shall be performed on the same valve(s) or valve section(s);
- provided that the valve is demonstrably similar to one previously tested, the supplier may submit a certified report of any previous type test, at least equal to the requirements specified in the contract, in lieu of the type test;
- for type tests performed on valve sections, the total number of thyristor levels subjected to such type tests shall be at least equal to the number of thyristor levels in a valve;
- the valve or valve sections used for type tests shall first pass all production tests. On completion of the type test programme, the valve or valve sections shall be checked again for compliance with the production test criteria;
- material for the type tests shall be selected at random;
- the dielectric tests shall be performed in accordance with IEC 60060-1 and IEC 60060-2 where applicable;
- individual tests may be performed in any order.

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

## 4.4 Test conditions

### 4.4.1 General

#### 4.4.1.1 Dielectric test objects

Dielectric tests shall be performed on completely assembled valves, whereas some operational tests may be performed on either complete valves or valve sections. Tests that may be performed on valve sections are identified in 4.1.

The valve shall be assembled with all auxiliary components except for the valve arrester, if used. Unless otherwise specified, the valve electronics shall be energized. The cooling and insulating fluids in particular shall be in a condition that represents service conditions such as conductivity, except for the flow rate and antifreezing media content, which can be reduced. If any object or device external to the structure is necessary for proper representation of the stresses during the test, it shall also be present or simulated in the test. Metallic parts of the valve structure (or other valves in a MVU) which are not part of the test shall be shorted together and connected to earth in a manner appropriate to the test in question.

#### 4.4.1.2 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:

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 less than 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 ( $b_{1\,000m}$ ).

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 (°C).

- humidity:

design minimum valve hall absolute humidity (g/m<sup>3</sup>).

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

Where non-standard test levels are defined by this standard, a site air density correction factor  $k_d$ , defined below shall be applied where stated.

The value of  $k_d$  shall be determined from the following expression:

$$k_d = \frac{b_1}{b_2} \times \frac{273 + T_2}{273 + T_1} \quad (1)$$

where

$b_1$  is the laboratory ambient air pressure, expressed in pascals (Pa);

- $T_1$  is the laboratory ambient air temperature, expressed in degrees Celsius (°C);
- $b_2$  is the standard reference atmosphere of 101,3 kPa (i.e. 1 013 mbar), corrected to the altitude of the site at which the equipment will be installed;
- $T_2$  is the design maximum valve hall air temperature, expressed in degrees Celsius (°C).

Correction factors should not be applied either to the dielectric tests between valve terminals or to the long duration dielectric tests whose primary purpose is to check for the internal insulation and partial discharges.

#### **4.4.1.3 Operational tests**

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

Sometimes, operational tests may be performed at a power frequency different from the service frequency, e.g. 50 Hz instead of 60 Hz. Some operational stresses such as switching losses or  $I^2t$  of short-circuit current are affected by the actual power frequency during tests. When this situation occurs, the test conditions shall be reviewed and appropriate changes made to ensure that the valve stresses are at least as severe as they would be if the tests were performed at the service frequency.

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. Antifreezing media content should, preferably, be equivalent to the service condition; however, where this is not practicable, a correction factor agreed between the supplier and the purchaser shall be applied.

The atmospheric correction factors are not applicable to operational tests.

#### **4.4.2 Valve temperature at testing**

##### **4.4.2.1 Valve temperature for dielectric tests**

Unless specified otherwise, tests shall be performed at room temperature.

##### **4.4.2.2 Valve temperature for operational tests**

Unless specified otherwise, tests shall be carried out under the conditions that produce the highest component temperature that may occur in real operation.

If several components are to be verified by a test, it may be necessary to carry out the same test under different conditions.

#### **4.4.3 Redundant thyristor levels**

##### **4.4.3.1 Dielectric tests**

All dielectric tests on a complete valve shall be carried out with redundant thyristor levels short-circuited, except where otherwise indicated.

#### 4.4.3.2 Operational tests

For operational tests, redundant thyristor levels should not be short-circuited. The test voltages and circuit impedances used shall be adjusted by means of a scaling factor  $k_n$ .

$$k_n = \frac{N_{\text{tot}}}{N_t - N_r} \quad (2)$$

where

$N_{\text{tot}}$  is the total 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.

NOTE In thyristor valves with a small number of thyristor levels, where the redundancy is a significant portion of the total, this may cause certain valve components to be overstressed. As an alternative, it is therefore acceptable to perform the operational test with redundant thyristor levels short-circuited and without scaling the test voltages and impedances by  $k_n$ .

#### 4.5 Permissible component failures during type testing

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 essentially random and do not show any pattern that is indicative of inadequate design.

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

One thyristor level is permitted to fail due to short-circuiting in any type test. If, following a type test, one thyristor level has become short-circuited, then the failed level shall be restored and this type test repeated (see 4.4.1b) in IEC 60700-1, Amendment 1). The total number of thyristor levels allowed to fail during all tests are given in Table 2.

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

#### 4.6 Documentation of test results

##### 4.6.1 Test reports to be issued

The supplier shall provide certified test reports of all type tests performed on the valves or valve sections.

Test records on the results of routine tests shall be provided by the supplier.



**Table 2 – Number of thyristor levels permitted to fail during type tests**

| Number of thyristor levels in a complete valve | Number of thyristor levels permitted to fail to short circuit in any one type test | Total number of thyristor levels permitted to fail to short circuit in all type tests | Additional number of thyristor levels, in all type tests, permitted to have experienced a fault but have not become short circuited |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <34                                            | 1                                                                                  | 2                                                                                     | 2                                                                                                                                   |
| 34 < n < 68                                    | 1                                                                                  | 3                                                                                     | 3                                                                                                                                   |
| 68 < n < 101                                   | 1                                                                                  | 4                                                                                     | 4                                                                                                                                   |

#### 4.6.2 Contents of a type test report

A report on the type tests conducted on the thyristor valves shall be produced. The report shall include the following:

- a) general data such as:
  - identification of the equipment tested (e.g. type and ratings, drawing number, serial number, etc.);
  - identification of major parts of the test objects (e.g. thyristors, valve reactors, printed circuit cards, etc.);
  - name and location of the facility where the test was carried out;
  - relevant circumstances wherever necessary (e.g. temperature, humidity and barometric pressure during the dielectric tests, etc.);
  - reference to the test specification;
  - dates of the tests;
  - name(s) and signature(s) of the personnel responsible;
  - signature of the purchaser's inspector (if present) and the sign of his approval (if required);
- b) description of power sources (i.e. impulse voltage generator, d.c. voltage source, etc.) used for the particular test, such as the name of the manufacturer, ratings, characteristics, etc.;
- c) description of the measuring instrumentation, including information on guaranteed accuracy and date of the last calibration;
- d) detailed information on the arrangement for each test (e.g. circuit diagramme);
- e) description of the test procedures;
- f) any agreed deviations or waivers;
- g) tabulated results including photographs, oscillograms, graphs, etc.;
- h) reports on component failures or other unusual events;
- i) conclusions and recommendations, if any.

## 5 Type tests on TCR and TSR valves

### 5.1 Dielectric tests between valve terminals and earth

#### 5.1.1 General

For these tests, each thyristor valve shall be short-circuited across valve terminals or individual thyristor levels.

For valves belonging to a MVU, all valves in the same structure shall be short-circuited and connected together. The test voltage shall be applied between all the valves and earth.

See 4.4.1.1 for other detailed requirements of the test object.

## 5.1.2 AC test

### 5.1.2.1 Objectives

See 4.2.2.1.

### 5.1.2.2 Test values and waveshapes

$U_{ts1}$  and  $U_{ts2}$  have sinusoidal waveshapes with a frequency of 50 Hz or 60 Hz, depending on the test facilities.  $U_{ts1}$  is the standard short-duration power-frequency withstand voltage according to IEC 60071-1, Table 2.  $U_{ts2}$  shall be calculated from the following:

$$U_{ts2} = \frac{k_{s2} \times U_{ms2}}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

where

$U_{ms2}$  is the peak value of the maximum steady-state operating voltage, including extinction overshoot, appearing between any valve terminal and earth;

$k_{s2}$  is a test safety factor;

$k_{s2} = 1,2$ .

### 5.1.2.3 Test procedures

The test consists of applying the specified test voltages  $U_{ts1}$  and  $U_{ts2}$  for the specified duration between the two interconnected valve terminals and earth.

- Raise the voltage from 50 %  $U_{ts1}$  to 100 % of  $U_{ts1}$  in approximately 10 s.
- Maintain  $U_{ts1}$  for 1 min.
- Reduce the voltage from 100 %  $U_{ts1}$  to  $U_{ts2}$ .
- Maintain  $U_{ts2}$  for 10 min, record the partial discharge level and then reduce the voltage from  $U_{ts2}$  to zero.
- The peak value of the periodic partial discharge recorded during the last minute of step d) shall be less than 200 pC, provided that the components which are sensitive to partial discharge in the valve have been separately tested, or alternatively, 50 pC if they have not.
- The measurement of inception and extinction voltage shall be performed in accordance with IEC 60270.

## 5.1.3 Lightning impulse test

### 5.1.3.1 Objectives

See 4.2.2.1.

### 5.1.3.2 Test values and waveshapes

A standard 1,2/50  $\mu$ s waveshape in accordance with IEC 60060 shall be used.

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

### 5.1.3.3 Test procedures

The test shall comprise three applications of positive-polarity and three applications of negative-polarity lightning impulse voltages between the earth and the two valve terminals connected together.

## 5.2 Dielectric tests between valves (MVU only)

### 5.2.1 General

For these tests, each thyristor valve shall be short-circuited across valve terminals or individual thyristor levels.

The tests shall be repeated to verify the insulation between any two valves located in the same structure, unless the physical arrangement of the MVU makes it unnecessary.

See 4.4.1.1 for other detailed requirements of the test object.

### 5.2.2 AC test

#### 5.2.2.1 Objectives

See 4.2.2.1.

#### 5.2.2.2 Test values and waveshapes

$U_{ts1}$  and  $U_{ts2}$  have sinusoidal waveshapes with a frequency of 50 Hz or 60 Hz depending on the test facilities.  $U_{ts1}$  is the standard short-duration power-frequency withstand voltage according to IEC 60071-1, Table 2.  $U_{ts2}$  shall be calculated from the following equation:

$$U_{ts2} = \frac{k_{s2} \times U_{ms3}}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

where

$U_{ms3}$  is the peak value of the maximum steady-state operating voltage, including extinction overshoot, appearing between valves;

$k_{s2}$  is a test safety factor;

$k_{s2} = 1,2$ .

#### 5.2.2.3 Test procedures

The test consists of applying the specified test voltages  $U_{ts1}$  and  $U_{ts2}$  for the specified duration between the valves.

- Raise the voltage from 50 % to 100 % of  $U_{ts1}$  in approximately 10 s.
- Maintain  $U_{ts1}$  for 1 min.
- Reduce the voltage to  $U_{ts2}$ .
- Maintain  $U_{ts2}$  for 10 min, record the partial discharge level and then reduce the voltage to zero.
- The peak value of the periodic partial discharge recorded during the last minute of step d) shall be less than 200 pC, provided that the components which are sensitive to partial discharge in the valve have been separately, or alternatively 50 pC if they have not.
- The measurement of inception and extinction voltage shall be performed in accordance with IEC 60270.

### 5.2.3 Lightning impulse test

#### 5.2.3.1 Objectives

See 4.2.2.1.

#### 5.2.3.2 Test values and waveshapes

A standard 1,2/50 µs waveshape shall be used.

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

#### 5.2.3.3 Test procedures

The test shall comprise three applications of positive-polarity and three applications of negative-polarity lightning impulse voltages between valves.

### 5.3 Dielectric tests between valve terminals

#### 5.3.1 General

For valves belonging to a multiple valve unit, these tests need only be performed on one valve. Each other valve in the same structure shall be short-circuited across valve terminals or individual thyristor levels and connected to earth.

See 4.4.1.1 for detailed requirements for the test object.

#### 5.3.2 AC test

##### 5.3.2.1 Objectives

See 4.2.2.2.

##### 5.3.2.2 Test values and waveshapes

$U_{tv1}$  and  $U_{tv2}$  have sinusoidal waveshapes with a frequency of 50 Hz or 60 Hz depending on the test facilities.

The value of the test voltage  $U_{tv1}$  depends on the protection system of the valve and is equal to ~~the smaller of  $U_{tv11}$  and  $U_{tv12}$~~  the smallest of  $U_{tv11}$ ,  $U_{tv12}$  or  $U_{tv13}$ . Where neither  $U_{tv11}$  nor  $U_{tv12}$  can be determined,  $U_{tv13}$  shall be used.

$U_{tv11}$  is determined by the VBO protective firing of the valve;

$U_{tv12}$  is determined by the protective action of the arresters;

$U_{tv13}$  is determined by the maximum temporary overvoltage that can occur.

$U_{tv11}$ ,  $U_{tv12}$  and  $U_{tv13}$  shall be evaluated as follows:

$$U_{tv11} = \frac{k_{s11} \times U_1}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

where

$U_1$  is the maximum instantaneous value of the valve terminal-to-terminal voltage that is guaranteed not to initiate the VBO protective firing system, if fitted;

$k_{s11}$  is a test safety factor;

$k_{s11} = 0,95$ .

$$U_{tv12} = \frac{k_{s12} \times U_2}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

where

$U_2$  is the protective voltage of the arrester, if fitted, connected across the valve terminals;

$k_{s12}$  is a test safety factor;

$k_{s12} = 1,1$ .

$$U_{tv13} = \frac{k_{s13} \times U_3}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

where

$U_3$  is the peak value of maximum repetitive overvoltage, including extinction overshoot, across the valve terminals for the most severe temporary overvoltage condition specified;

$k_{s13}$  is a test safety factor;

$k_{s13} = 1,3$  1,15.

NOTE The prescribed test may thermally overstress some valve components unrealistically. Where this is the case, subject to agreement between the purchaser and the supplier, the 1 min a.c. voltage withstand test may be replaced by several shorter tests whose minimum duration is determined from the maximum possible duration of the specified overvoltage condition multiplied by 2, but with a total duration of not less than 1 min. **More onerous test values for  $U_{tv13}$  can be agreed between the purchaser and supplier.**

The test voltage  $U_{tv2}$  shall be the smaller of  $U_{tv1}$  and  $U_{tv21}$ :

$$U_{tv21} = \frac{k_{s2} \times U_{mv2}}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

where

$U_{mv2}$  is the peak value of the maximum repetitive voltage, including extinction overshoot, appearing between valve terminals during the most severe steady-state operating condition;

$k_{s2}$  is a test safety factor;

$k_{s2} = 1,15$ .

### 5.3.2.3 Test procedures

The test procedure consists of applying the specified test voltages, for the specified duration, between the two valve terminals. One terminal of the valve may be earthed.

- Raise the voltage from 50 % to 100 % of  $U_{ts1}$  in approximately 10 s.
- Maintain  $U_{tv1}$  for 1 min.
- Reduce the voltage to  $U_{tv2}$ .
- Maintain  $U_{tv2}$  for 10 min, record the partial discharge level and reduce the voltage to zero.
- The peak value of the periodic partial discharge recorded during the last minute of step d) shall be less than 200 pC, provided that the components which are sensitive to partial discharge in the valve have been separately tested, or alternatively 50 pC if they have not.
- The measurement of inception and extinction voltage shall be performed in accordance with IEC 60270.

If protective VBO firing is provided, it shall not operate during this test.

### 5.3.3 Switching impulse test

#### 5.3.3.1 Objectives

See 4.2.2.2. An additional objective is to verify the electromagnetic interference insensitivity of the valve (see Clause 7).

#### 5.3.3.2 Test values and waveshapes

- Waveshape 1:  
Use a 20/200 µs waveshape, which approximates a typical extinction waveshape, or an alternative approximation if supported by system studies.
- Waveshape 2:  
Use a standard 250/2 500 µs waveshape.

##### a) Test 1

This test is intended to verify that the protective firing system of the valve (if applicable to the valve design) will not operate for voltage values up to the test voltage.

The test voltage  $U_{tsv1}$  is determined as follows:

$$U_{tsv1} = k_s \times U_{pf} \quad (\text{waveshapes 1 and 2}) \quad (9)$$

where

$U_{pf}$  is the value of surge voltage that the valve shall withstand without initiating operation of the protective firing system under service conditions;

$k_s$  is a test safety factor;

$k_s = 1,05$ .

##### b) Test 2

This test is intended to verify the valve insulation and the proper operation of the protective firing system (if applicable to the valve design).

##### – Valves protected by surge arresters:

The prospective test voltage  $U_{tsv2}$  is determined as follows:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{waveshapes 1 and 2}) \quad (10)$$

where

$U_{cms}$  is the arrester protective level;

$k_s$  is a test safety factor;

$k_s = 1,1$ .

##### – Valves protected by VBO:

The prospective test voltage  $U_{tsv2}$  is determined as follows:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{VBO} \quad (\text{waveshapes 1 and 2}) \quad (11)$$

where

$U_{VBO}$  is the maximum VBO protective voltage level with redundant thyristor levels operational;

$k_s$  is a test safety factor;

$k_s = 1,1$ .

The upper and lower limits of the protective VBO firing threshold, with the redundant thyristor levels operational, shall be stated by the manufacturer and a check made that the observed voltage at firing lies between the two limits.

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

NOTE In valve designs where the regular firing circuits are energized independently of the main power circuit, this additional test is not applicable.

### c) Test 3

This test is intended to verify the valve insulation when neither arresters nor VBOs are used.

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{waveshapes 1 and 2}) \quad (12)$$

where

$U_{cms}$  is the switching impulse prospective voltage according to IEC 60071, or as determined by insulation coordination studies;

$k_s$  is a test safety factor;

$k_s = 1,3$  1,15.

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

#### 5.3.3.3 Test procedures

For any of these tests, three applications of switching impulse voltages of each polarity shall be applied between the valve terminals, with one terminal earthed.

Instead of reversing the polarity of the surge generator, the test may be performed with one polarity of the surge generator and reversing the valve terminals.

## 5.4 Operational tests

### 5.4.1 Periodic firing and extinction test

#### 5.4.1.1 Objectives

The main objective of this test is to demonstrate the valve switching capability, at elevated voltage and current, during periodic turn-on and turn-off operation. This test also verifies the proper operation of the dividing/damping network provided to ensure uniform voltage distribution.

If the valve design allows continuous operation of individual protective firing (such as VBO), this test shall be used to verify reliable operation of the protective firing circuit itself and the damping circuit at the affected thyristor level.

#### 5.4.1.2 Test values and waveshapes

The valve should be shown to withstand the combined voltage and current stresses resulting from temporary overvoltage. Therefore, the test conditions shall correspond to the specified worst-case, time-dependent system overvoltage (load cycle) for which the SVC must remain in service, taking into account the control and protection characteristics of the scheme. In

particular, it shall be demonstrated that the valve can block the highest voltage (including extinction overshoot) combined with the maximum thyristor junction temperature given by the load cycle.

The valve or valve sections shall be subjected to current and voltage waveshapes as close as possible to those experienced by the valve during firing and extinction, for the most critical operating conditions specified below. The time interval of principal interest for firing is the first 10 to 20  $\mu\text{s}$  after firing while, for extinction, the interval of interest is between 0,2 ms before and 1 ms after current zero at thyristor turn-off.

In particular, the following conditions shall be no less severe than in service:

- voltage magnitudes at turn-on and turn-off;
- the  $di/dt$  at turn-on and at least for 0,2 ms before current zero;
- the thyristor junction temperature.

The following factors shall also be considered:

- the representation of stray capacitance between valve terminals;
- sufficient magnitude and duration of the load current to achieve full area conduction of the thyristor junction.

#### 5.4.1.3 Test procedures

The tests shall be performed using suitable test circuits giving turn-on and turn-off stresses equivalent to the appropriate service conditions, such as a power frequency source feeding a reactor in series with the valve section, or an appropriate synthetic test circuit.

All the auxiliary systems which may influence the behaviour of the valve in the operating conditions specified below (e.g. forced firing) shall be in operation.

Ideally, the test would be performed by reproducing the specified time-dependent source voltage. For practical reasons, a modified test procedure may be adopted as follows:

- a) establish maximum steady-state conditions for voltage and current and maintain them until thermal equilibrium is reached;
- b) raise the source voltage to the highest value according to the overload characteristic or to the highest value for which phase angle control is guaranteed. A test safety factor of 1,05 shall be applied;
- c) keep the firing angle constant close to  $90^\circ$  until the thyristor temperature has reached the maximum temperature given by the specified temporary overvoltage cycle;
- d) return to the steady-state operating conditions.

The extinction overshoot, corresponding to the maximum step recovery voltage, shall be measured and checked to ensure that it is less than the design value. If the valve design allows for continuous operation of VBO protective firing of individual thyristor levels, this feature shall be tested under steady-state conditions by disabling the normal firing signal to one thyristor for a period long enough to reach thermal equilibrium for the stressed components.

NOTE The temporary overload cycle for a TSR valve will be a current overload without voltage. In order for the objectives of the test to be fulfilled, the steady-state operation immediately following the overload should be a blocked condition. This will demonstrate the ability of overheated thyristors to withstand the blocking voltage.

### 5.4.2 Minimum a.c. voltage test

#### 5.4.2.1 Objectives

The purpose of this test is to verify proper operation of the firing system in the TCR valve at the specified minimum a.c. voltage and specified operating conditions.



### 5.4.2.2 Test procedures, values and waveshapes

The test procedure shall be as follows:

- a) apply the minimum temporary undervoltage for which the TCR shall remain controlled and maintain it for a time which is at least equal to twice the specified duration of the temporary undervoltage;
- b) vary the control angle  $\alpha$  between  $\alpha_{\min}$  and  $\alpha_{\max}$ ;
- c) Repeat item b) by reducing (continuously or in steps) the voltage to zero (or to the intervention level of the protection), in order to demonstrate that this condition is not harmful to the valve.

A test safety factor of 0,95 shall be applied.

NOTE Depending on the valve design, it may be necessary to return to the minimum steady-state value of the a.c. voltage after each undervoltage step in order to replenish the gate power supplies.

### 5.4.3 Temperature rise test

#### 5.4.3.1 Objectives

The main purpose of this test is to demonstrate that the temperature rise of the most critical heat producing components is within specified limits, to verify that no components or materials are subjected to excessive temperatures under different steady-state operating conditions and to demonstrate that the cooling provided is adequate.

#### 5.4.3.2 Test procedures

The valve shall be subjected to voltages and currents that result in losses that are 5 % greater than those occurring in service under specified operating conditions, for the most stringent cooling conditions. The test shall be continued for 30 min after thermal equilibrium has been reached.

More than one test may be required in order to determine the temperature rise of some components whose maximum thermal loadings can occur under different operating conditions.

In the event when the current conduction capacity of the interconnection links (busbars) between the antiparallel thyristors is a concern, the test shall be repeated with one thyristor level short circuited, for example by substituting a thyristor by a metal dummy.

NOTE Where the temperature of the critical part of the heat-producing components cannot practically be determined by measurement, for example the junction temperature of the thyristors or the element temperature of the dividing/damping resistors, a measurement at an appropriate point from which this temperature can be estimated may be used.

## 6 Type tests on TSC valves

### 6.1 Dielectric tests between valve terminals and earth

#### 6.1.1 General

For these tests, each thyristor valve shall be short-circuited across valve terminals or individual thyristor levels.

For valves belonging to a multiple valve unit (MVU), all valves in the same structure shall be short-circuited and connected together. The test voltage shall be applied between all the valves and earth.

See 4.4.1.1 for other detailed requirements of the test object

## 6.1.2 AC-DC test

### 6.1.2.1 Objectives

See 4.2.2.1.

### 6.1.2.2 Test values and waveshapes

#### a) Test voltage $U_{ts1}$ , 1 min

$U_{ts1}$  has a sinusoidal waveshape superimposed on a d.c. level.  $U_{ts1}$  shall be calculated from the following:

$$U_{ts1} = U_{tac1} + U_{tdc1} \quad (13)$$

$$U_{tac1} = k_{s1} \times k_d \times U_{ac1} \times \sin(2\pi ft) \quad (14)$$

$$U_{tdc1} = k_{s1} \times k_d \times U_{dcm1} \quad (15)$$

where

$U_{dcm1}$  is the maximum d.c. voltage remaining across the capacitor bank after any fast-acting discharge devices, e.g. arresters (decay time constant less than 100 ms) have ceased conducting after blocking of the valve following a system disturbance;

$U_{ac1}$  is the peak value of the maximum predicted long duration overvoltage (excluding the d.c. component) that can appear between any valve terminal and earth;

$k_{s1}$  is a test safety factor;

$k_{s1} = 1,3$ ;

$k_d$  is the site air density correction factor (see 4.4.1.2);

$f$  is the test frequency (50 Hz or 60 Hz depending on test facilities).

#### b) Test voltage $U_{ts2}$ , 10 min

$U_{ts2}$  has a sinusoidal waveshape (see 4.2.2).  $U_{ts2}$  shall be calculated from the following:

$$U_{ts2} = k_{s2} \times U_{ac2} \times \sin(2\pi ft) \quad (16)$$

where

$U_{ac2}$  is the peak value of the maximum steady-state operating voltage that can appear between any valve terminal and earth;

$k_{s2}$  is a test safety factor;

$k_{s2} = 1,15$ ;

$f$  is the test frequency (50 Hz or 60 Hz depending on test facilities).

### 6.1.2.3 Test procedures

The test consists of applying the specified test voltages  $U_{ts1}$  and  $U_{ts2}$  for the specified durations between the two interconnected valve terminals and earth.

a) Raise the voltage from 50 % to 100 % of  $U_{ts1}$  in approximately 10 s.

b) Maintain  $U_{ts1}$  for 1 min.

c) Reduce the voltage to  $U_{ts2}$ .

- d) Maintain  $U_{ts2}$  for 10 min, record the partial discharge level and then reduce the voltage to zero.
- e) The peak value of the periodic partial discharge recorded during the last minute of step d) shall be less than 200 pC, provided that the components which are sensitive to partial discharge in the valve have been separately tested, or alternatively 50 pC if they have not.
- f) The measurement of inception and extinction voltage shall be performed according to IEC 60270 for a.c. tests

#### 6.1.2.4 Alternative tests

The composite a.c.-d.c. test may be replaced by an a.c. test and a d.c. test performed separately.

##### a) AC test

The test consists of applying the specified test voltages  $U_{t1(ac)}$  and  $U_{t2(ac)}$  for the specified duration between the two interconnected valve terminals and earth.  $U_{t1(ac)}$  and  $U_{t2(ac)}$  have sinusoidal waveshapes with a frequency of 50 Hz or 60 Hz, depending on the test facilities.

$$U_{t1(ac)} = k_{s1} \times k_d \times (U_{ac1} + U_{dcm1}) / \sqrt{2} \quad (17)$$

$$U_{t2(ac)} = k_{s2} \times U_{ac2} / \sqrt{2} \quad (18)$$

See 6.1.2.2 for definitions.

- 1) Raise the voltage from 50 % to 100 % of  $U_{t1(ac)}$  in approximately 10 s.
- 2) Maintain  $U_{t1(ac)}$  for 1 min.
- 3) Reduce the voltage to  $U_{t2(ac)}$ .
- 4) Maintain  $U_{t2(ac)}$  for 10 min, record the partial discharge level and then reduce the voltage to zero.
- 5) The peak value of the periodic partial discharge recorded during the last minute of step d) shall be less than 200 pC, provided that the components which are sensitive to partial discharge in the valve have been separately tested, or alternatively, 50 pC if they have not.
- 6) The measurement of inception and extinction voltage shall be performed in accordance with IEC 60270.

##### b) DC test

The test consists of applying the specified d.c. test voltage  $U_{t1(dc)}$  for the specified duration between the two interconnected valve terminals and earth.

$$U_{t1(dc)} = k_{s1} \times k_d \sqrt{\left(\frac{U_{ac1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + U_{dcm1}^2} \quad (19)$$

See 6.1.2.2 for definitions.

The test shall be repeated for both polarities of the d.c. component.

- 1) Raise the voltage from 50 % to 100 % of  $U_{t1(dc)}$  in approximately 10 s.
- 2) Maintain  $U_{t1(dc)}$  for 1 min.
- 3) Reduce the voltage to zero.

### 6.1.3 Lightning impulse test

#### 6.1.3.1 Objectives

See 4.2.2.1.

#### 6.1.3.2 Test values and waveshapes

A standard 1,2/50 µs waveshape in accordance with IEC 60060 shall be used.

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

#### 6.1.3.3 Test procedures

The test shall comprise three applications of positive-polarity and three applications of negative-polarity lightning impulse voltages between earth and the two valve terminals connected together.

## 6.2 Dielectric tests between valves (for MVU only)

### 6.2.1 General

For these tests, each thyristor valve shall be short-circuited across valve terminals or individual thyristor levels.

The tests shall be repeated to verify the insulation between any two valves located in the same structure, unless the physical arrangement of the MVU makes it unnecessary.

See 4.4.1.1 for other detailed requirements of the test object.

### 6.2.2 AC-DC test

#### 6.2.2.1 Objectives

See 4.2.2.1.

#### 6.2.2.2 Test values and waveshapes

##### a) Test voltage $U_{tvv1}$ , 1 min

$U_{tvv1}$  has a sinusoidal waveshape superimposed on a d.c. level.  $U_{tvv1}$  shall be calculated from the following:

$$U_{tvv1} = U_{tac1} + U_{tdc1} \quad (20)$$

$$U_{tac1} = k_{s1} \times k_d \times U_{ac1} \times \sin(2\pi f t) \quad (21)$$

$$U_{tdc1} = k_{s1} \times k_d \times U_{dcm1} \times k_{dc} \quad (22)$$

where

$U_{dcm1}$  is the maximum d.c. voltage remaining across the capacitor bank after any fast-acting discharge devices e.g. arresters (decay time constant less than 100 ms) have ceased conducting after blocking of the valve following a system disturbance;

$U_{ac1}$  is the peak value of the maximum predicted long duration overvoltage (excluding the d.c. component) that can appear between adjacent valve terminals;

- $k_{s1}$  is a test safety factor;  
 $k_{s1} = 1,3$ ;  
 $k_d$  is the site air density correction factor (see 4.4.1.2);  
 $k_{dc} = 2$ . An alternative value, e.g. 1, may be used if the supplier can demonstrate to the satisfaction of the purchaser that this figure is applicable to the MVU design;  
 $f$  is the test frequency (50 Hz or 60 Hz depending on test facilities).

#### b) Test voltage $U_{tvv2}$ , 10 min

$U_{tvv2}$  has a sinusoidal waveshape (see 4.2.2).  $U_{tvv2}$  shall be calculated from the following:

$$U_{tvv2} = k_{s2} \times U_{ac2} \times \sin(2\pi ft) \quad (23)$$

where

- $U_{ac2}$  is the peak value of the maximum steady-state operating voltage that can appear between adjacent valve terminal and earth;  
 $k_{s2}$  is a test safety factor;  
 $k_{s2} = 1,15$ ;  
 $f$  is the test frequency (50 Hz or 60 Hz depending on test facilities).

#### 6.2.2.3 Test procedures

The test consists of applying the specified test voltages  $U_{tvv1}$  and  $U_{tvv2}$  for the specified duration between the valves. The test voltage  $U_{tac1}$  or  $U_{tac2}$  may be applied between the terminals (short-circuited together) and earth of one valve and the d.c. voltage  $U_{tdc1}$  or  $U_{tdc2}$  between the terminals (all short-circuited together) of all remaining valves and earth. Other arrangements for combining the a.c. and d.c. voltages are also possible.

- Raise the voltage from 50 % to 100 % of  $U_{ts1}$  in approximately 10 s.
- Maintain  $U_{tvv1}$  for 1 min.
- Reduce the voltage to  $U_{tvv2}$ .
- Maintain  $U_{tvv2}$  for 10 min, record the partial discharge level and then reduce the voltage to zero.
- The peak value of the periodic partial discharge recorded during the last minute of step d) shall be less than 200 pC, provided that the components which are sensitive to partial discharge in the MVU have been separately tested, or alternatively 50 pC if they have not.
- The measurement of inception and extinction voltage shall be performed according to IEC 60270 for a.c. tests.

#### 6.2.2.4 Alternative tests

The composite a.c.-d.c. test may be replaced by an a.c. test and a d.c. test performed separately.

##### a) AC test

The test consists of applying the specified test voltages  $U_{t1(ac)}$  and  $U_{t2(ac)}$  for the specified duration between the two valves.  $U_{t1(ac)}$  and  $U_{t2(ac)}$  have sinusoidal waveshapes with a frequency of 50 Hz or 60 Hz, depending on the test facilities.

$$U_{t1(ac)} = k_{s1} \times k_d \times (U_{ac1} + k_{dc} \times U_{dcm1}) / \sqrt{2} \quad (24)$$

$$U_{t2(ac)} = k_{s2} \times U_{ac2} / \sqrt{2} \quad (25)$$

See 6.2.2.2 for definitions.

- 1) Raise the voltage from 50 % to 100 % of  $U_{t1(ac)}$  in approximately 10 s.
- 2) Maintain  $U_{t1(ac)}$  for 1 min.
- 3) Reduce the voltage to  $U_{t2(ac)}$ .
- 4) Maintain  $U_{t2(ac)}$  for 10 min, record the partial discharge level and then reduce the voltage to zero.
- 5) The peak value of the periodic partial discharge recorded during the last minute of step d) shall be less than 200 pC, provided that the components which are sensitive to partial discharge in the MVU have been separately tested, or alternatively 50 pC if they have not.
- 6) The measurement of inception and extinction voltage shall be performed in accordance with IEC 60270.

#### b) DC test

The test consists of applying the specified d.c. test voltage  $U_{t1(dc)}$  for the specified duration between the two interconnected valve terminals and earth.

$$U_{t1(dc)} = k_{s1} \times k_d \sqrt{\left(\frac{U_{ac1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + (k_{dc} \times U_{dcm1})^2} \quad (26)$$

See 6.2.2.2 for definitions.

The test shall be repeated for both polarities of the d.c. component.

- 4) Raise the voltage from 50 % to 100 % of  $U_{t1(dc)}$  in approximately 10 s.
- 5) Maintain  $U_{t1(dc)}$  for 1 min.
- 6) Reduce the voltage to zero.

### 6.2.3 Lightning impulse test

#### 6.2.3.1 Objectives

See 4.2.2.1.

#### 6.2.3.2 Test values and waveshapes

A standard 1,2/50  $\mu$ s waveshape in accordance with IEC 60060 shall be used.

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

#### 6.2.3.3 Test procedures

The test shall comprise three applications of positive polarity and three applications of negative polarity lightning impulse voltages between the valves.

### 6.3 Dielectric tests between valve terminals

#### 6.3.1 General

For valves belonging to a multiple valve unit, these tests need only be performed on one valve. Each other valve in the same structure shall be short-circuited across valve terminals or individual thyristor levels and connected to earth.

See 4.4.1.1 for other detailed requirements of the test object.

#### 6.3.2 AC-DC test

##### 6.3.2.1 Objectives

See 4.2.2.2.

##### 6.3.2.2 Test values and waveshapes

###### a) Test voltage $U_{tv1}$ , 1 min

$U_{tv1}$  has a sinusoidal waveshape superimposed on a d.c. level.  $U_{tv1}$  shall be calculated from the following:

$$U_{tv1} = U_{tac1} + U_{tdc1} \quad (27)$$

$$U_{tac1} = k_{s1} \times U_{ac1} \times \sin(2\pi ft) \quad (28)$$

$$U_{tdc1} = k_{s1} \times U_{dcm1} \quad (29)$$

where

$U_{dcm1}$  is the maximum d.c. voltage remaining across the capacitor bank after any fast acting discharge devices e.g. arresters (decay time constant less than 100 ms) have ceased conducting after blocking of the valve following a system disturbance;

$U_{ac1}$  is the peak value of the long duration overvoltage (excluding the d.c. component) that can appear across the valve;

$k_{s1}$  is a test safety factor;

$k_{s1} = 1,1$  if the voltage is limited by a surge arrester;

$k_{s1} = 1,30$  ~~1,30~~ **1,15** if no arrester is fitted;

$f$  is the test frequency (50 Hz or 60 Hz depending on test facilities).

###### b) Test voltage $U_{tv2}$ , 10 min

$U_{tv2}$  has a sinusoidal waveshape (see 4.2.1).  $U_{tv2}$  shall be calculated from the following:

$$U_{tv2} = k_{s2} \times U_{ac2} \times \sin(2\pi ft) \quad (30)$$

where

$U_{ac2}$  is the peak value of the maximum steady-state operating voltage that can appear between valve terminals;

$k_{s2}$  is a test safety factor;

$k_{s2} = 1,15$ ;

$f$  is the test frequency (50 Hz or 60 Hz depending on test facilities).

### 6.3.2.3 Test procedures

The test consists of applying the specified test voltages  $U_{tv1}$  and  $U_{tv2}$  for the specified duration between the two valve terminals. One terminal of the valve may be earthed.

- Raise the voltage from 50 % to 100 %  $U_{tv1}$  in approximately 10 s.
- Maintain  $U_{tv1}$  for 1 min.
- Reduce the voltage to  $U_{tv2}$ .
- Maintain  $U_{tv2}$  for 10 min, record the partial discharge level and then reduce the voltage to zero.
- The peak value of the periodic partial discharge recorded during the last minute of step d) shall be less than 200 pC, provided that the components which are sensitive to partial discharge in the valve have been separately tested, or alternatively 50 pC if they have not.
- The measurement of inception and extinction voltage shall be performed according to IEC 60270 for a.c. tests.

### 6.3.2.4 Alternative tests

The composite a.c.-d.c. test may be replaced by an a.c. test and a d.c. test performed separately.

#### a) AC test

The test consists of applying the specified test voltages  $U_{t1(ac)}$  and  $U_{t2(ac)}$  for the specified duration between the two valve terminals.  $U_{t1(ac)}$  and  $U_{t2(ac)}$  have sinusoidal waveshapes with a frequency of 50 Hz or 60 Hz, depending on the test facilities.

$$U_{t1(ac)} = k_{s1} \times (U_{ac1} + U_{dcm1}) / \sqrt{2} \quad (31)$$

$$U_{t2(ac)} = k_{s2} \times U_{ac2} / \sqrt{2} \quad (32)$$

See 6.3.2.2 for definitions.

- Raise the voltage from 50 % to 100 % of  $U_{t1(ac)}$  in approximately 10 s.
- Maintain  $U_{t1(ac)}$  for 1 min.
- Reduce the voltage to  $U_{t2(ac)}$ .
- Maintain  $U_{t2(ac)}$  for 10 min, record the partial discharge level and then reduce the voltage to zero.
- The peak value of the periodic partial discharge recorded during the last minute of step d) shall be less than 200 pC, provided that the components which are sensitive to partial discharge in the valve have been separately tested, or alternatively 50 pC if they have not.
- The measurement of inception and extinction voltage shall be performed in accordance with IEC 60270.

NOTE The prescribed test may thermally overstress some valve components unrealistically. Where this is the case, subject to agreement between the purchaser and the supplier, the 1 min a.c. voltage withstand test may be replaced by several shorter tests whose minimum duration is determined from the maximum possible duration of the specified overvoltage condition multiplied by 2, but with a total duration of not less than 1 min.

#### b) DC test

The test consists of applying the specified d.c. test voltage  $U_{t1(dc)}$  for the specified duration between the two interconnected valve terminals and earth.



$$U_{t1(dc)} = k_{s1} \sqrt{\left(\frac{U_{ac1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + U_{dc1}^2} \quad (33)$$

See 6.3.2.2 for definitions.

The test shall be repeated for both polarities of the d.c. component.

- 1) Raise the voltage from 50 % to 100 % of  $U_{t1(dc)}$  in approximately 10 s.
- 2) Maintain  $U_{t1(dc)}$  for 1 min.
- 3) Reduce the voltage to zero.

### 6.3.3 Switching impulse test

#### 6.3.3.1 Objectives

See 4.2.2.2.

The main objective of this test is to verify the withstand of the valve including the non-operation of VBO protective firing circuits, if fitted. This test checks for correct coordination between the arrester protective level and the valve protective firing threshold. An additional objective is to verify the electromagnetic interference insensitivity of the valve (see Clause 7).

#### 6.3.3.2 Test values and waveshapes

##### – Waveshape 1

Use a 20/200  $\mu$ s waveshape, which approximates a typical extinction waveshape, or an alternative approximation if supported by system studies.

##### – Waveshape 2

A standard 250/2 500  $\mu$ s waveshape shall be used.

#### a) Valves protected by surge arresters

The test voltage shall be calculated from the following equation:

$$U_{tsv} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{waveshapes 1 and 2}) \quad (34)$$

where

$U_{cms}$  is the arrester protective level for switching impulses;

$k_s$  is a safety factor;

$k_s = 1,1$ .

#### b) Valves not protected by surge arresters

The test voltage shall be calculated from the following equation:

$$U_{tsv} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{waveshapes 1 and 2}) \quad (35)$$

where

$U_{cms}$  is the switching impulse prospective voltage according to IEC 60071, or as determined by insulation coordination studies;

$k_s$  is a safety factor;

$k_s = 1,3$  1,15.

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

### 6.3.3.3 Test procedures

Three applications of each polarity of a switching impulse voltage of the specified amplitude and waveshape shall be applied between the valve terminals, one of which may be earthed.

Instead of reversing the polarity of the surge generator, the test may be performed with one polarity of the surge generator and reversing the valve terminals.

NOTE Protective firing, if fitted, should not operate during the test.

## 6.4 Operational tests

### 6.4.1 Overcurrent tests

#### 6.4.1.1 General

The main objective of these tests is to demonstrate the proper design of the valve during overcurrent conditions, caused by valve firing at instants with non-zero voltage between its terminals.

The overcurrent tests may be carried out using an oscillatory circuit, which consists of a reactor and capacitor fed from a fundamental frequency power source, or by an appropriate synthetic test circuit.

#### 6.4.1.2 Overcurrent with subsequent blocking

##### 6.4.1.2.1 Objectives

The objective of the test is to demonstrate the correct design of the valve with regard to voltage stress at elevated thyristor junction temperatures produced by the overcurrent. Both forward and reverse reapplied voltage need to be demonstrated.

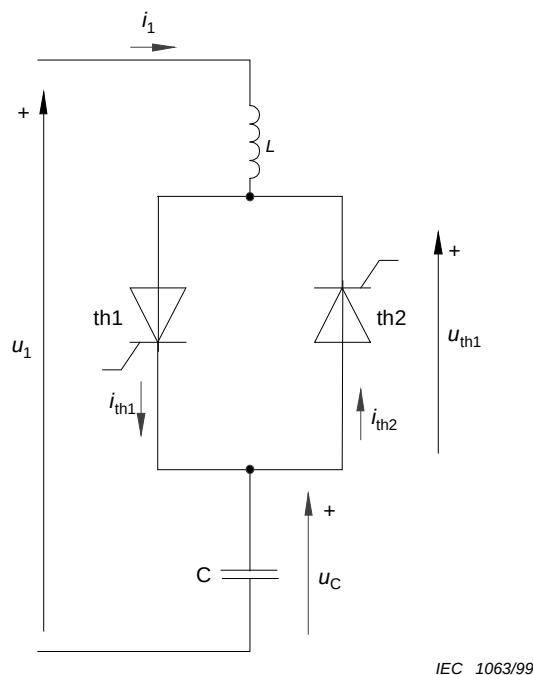
##### 6.4.1.2.2 Test values and waveshapes

The most important parameters to be reproduced are the magnitude and timing of the reapplied voltage (forward and reverse), and the corresponding thyristor temperature. Adequate representation of  $di/dt$  and step recovery voltage is also important.

The circuit diagramme of one TSC branch is shown in Figure 1.

The test current waveshape shall comprise one or two pulses having a current of peak value at least equal to the highest value of overcurrent after which blocking is permitted. The worst case of overcurrent and corresponding reapplied voltage (step and peak value), considering firing instant and number of pulses, shall be determined from system studies using the following sequence of events:

- a) the valve shall be blocked at the highest system voltage permitted by the SVC control and protective systems;
- b) the valve shall be fired with the system voltage as indicated above, with the capacitors charged. It shall be fired shortly before the voltage between its terminals is at its maximum. Where a protective system is installed to prevent firing at high-voltage levels, the firing shall occur at the limit set by the protection. This valve firing shall determine the current peak;



**Figure 1 – TSC branch**

- c) the valve shall be blocked at its first current zero crossing in order to define the valve maximum reverse voltage stress (Figure 2). The step voltage shall be defined directly after the valve blocking, and it shall not include the valve current extinction overshoot. The peak voltage shall be defined at the largest subsequent voltage peak within a fundamental frequency cycle;
- d) the valve shall be blocked at its second current zero crossing in order to define the valve maximum forward voltage stress (Figure 3). The step voltage shall be defined directly after the valve blocking, and it shall not include the valve current extinction overshoot. The peak voltage shall be defined at the largest subsequent voltage peak within a fundamental frequency cycle.

The frequency of the test current should approximate to the resonant frequency of the real TSC circuit.

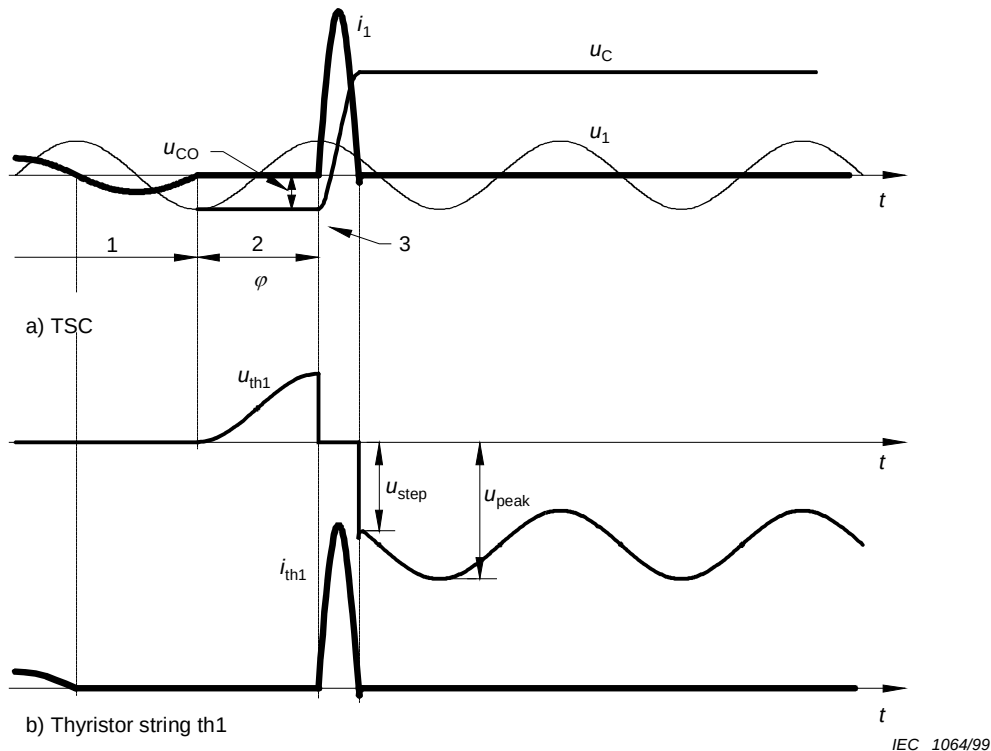
If a surge arrester is used to limit the valve voltage, then a special arrester, pro-rated according to the number of thyristor levels under test, may be included in the test circuit.

#### 6.4.1.2.3 Test procedure

The test should be performed such that both directions of conduction of thyristor strings are tested.

- a) Preheat the valve (or valve section) to a condition which represents the maximum steady-state temperature.
- b) Subject the valve (or valve section) to the worst overcurrent and associated reapplied voltage determined by 6.4.1.2.2.

NOTE The test may comprise one or two loops or both, provided the test objectives are met.



#### Key

- 1 Normal operation
- 2 Blocked
- 3 Valve fired
- $u_{CO}$  Voltage of charged capacitor C
- $\varphi$  Conduction angle of thyristor string th2

**Figure 2 – One-loop overcurrent**

### 6.4.1.3 Overcurrent without blocking

#### 6.4.1.3.1 Objectives

The objective of this test is to demonstrate the correct design of the valve with regard to the heating effect and electromagnetic forces imposed by the most onerous overcurrent to which the valve can be subjected in service.

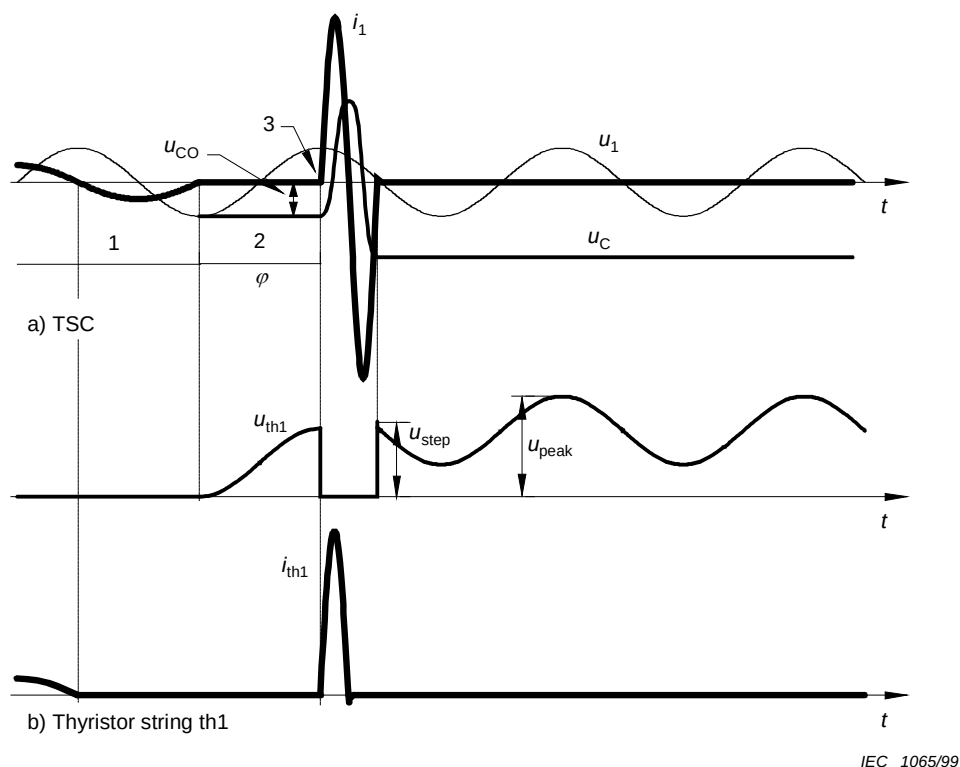
#### 6.4.1.3.2 Test values and waveshapes

The test current waveshape shall be a damped sinusoidal current oscillation, or a suitable alternative representation which gives a peak current, total  $I^2t$  and peak thyristor junction temperature not less than in service.

The frequency of the test current should approximate to the resonant frequency of the real TSC circuit.

#### 6.4.1.3.3 Test procedure

- a) Preheat the valve (or valve section) to a condition which represents the maximum steady state temperature.
- b) Subject the valve (or valve section) to the overcurrent.



#### Key

- 1 Normal operation
- 2 Blocked
- 3 Valve fired
- $u_{co}$  Voltage of charged capacitor C
- $\varphi$  Conduction angle of thyristor string th2

**Figure 3 – Two-loop overcurrent**

## 6.4.2 Minimum a.c. voltage test

### 6.4.2.1 Objectives

The purpose of this test is to verify proper operation of the firing system in the TSC valve at specified minimum a.c. voltage and specified operating conditions.

### 6.4.2.2 Test procedures, values and waveshapes

The test procedure shall be as follows:

- a) apply the minimum temporary undervoltage for which the TSC shall remain controlled and maintain the valve in the conducting state for a time which is at least equal to twice the specified duration of the temporary undervoltage;
- b) repeat item a) by reducing (continuously or in steps) the voltage to zero (or to the intervention level of the protection), in order to demonstrate that this condition is not harmful to the valve.

NOTE Depending on the valve design, it may be necessary after each undervoltage step to return to the minimum steady-state value of the a.c. voltage in order to replenish the gate power supplies.

A test safety factor of 0,95 shall be applied.

### 6.4.3 Temperature rise test

#### 6.4.3.1 Objectives

The main purpose of this test is to demonstrate that the temperature rise of the most critical heat producing components is within specified limits, to verify that no components or materials are subjected to excessive temperatures under different steady-state operating conditions and to verify that the cooling is adequate.

#### 6.4.3.2 Test procedures

The valve shall be subjected to voltages and currents that result in losses that are 5 % greater than those occurring in service under specified operating conditions, for the most stringent cooling conditions. The test shall be continued for 30 min after thermal equilibrium has been reached.

More than one test may be required in order to determine the temperature rise of components whose maximum thermal loading can occur under different operating conditions.

In the event that the current conduction capacity of the interconnection links (busbars) between the antiparallel thyristors is a concern, the test shall be repeated with one thyristor level short circuited, for example by substituting a thyristor by a metal dummy.

NOTE Where the temperature of the critical part of the heat-producing components cannot practically be determined by measurement, for example the junction temperature of the thyristors or the element temperature of the damping resistors, a measurement at an appropriate point from which this temperature can be estimated may be used.

## 7 Electromagnetic interference tests

### 7.1 Objectives

The objective of these tests is to demonstrate the insensitivity of the valve to electromagnetic emission imposed by external events or by the switching of other closely located valves.

The tests shall demonstrate that, as a result of electromagnetic emission,

- spurious triggering of thyristors does not occur;
- false indication of thyristor level faults or erroneous signals sent to the SVC control and protection system do not occur.

NOTE 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.

### 7.2 Test procedures

#### 7.2.1 General

Insensitivity to electromagnetic interference is verified by monitoring the valve during the switching impulse and non-periodic firing tests. In the first case, the valve which is subjected to the switching impulse is also monitored for electromagnetic interference insensitivity. In the second case, an additional test valve shall be positioned adjacent to the valve being subjected to the non-periodic firing test. This additional test object shall be monitored for electromagnetic interference.

The geometric arrangements of the test valves shall be as in service.

### 7.2.2 Switching impulse test

The test is performed as a part of the TCR/TSR and TSC type tests (5.3.3.1 and 6.3.2.1, respectively).

The electronics of the valve under test shall be energized.

Those parts of the valve base electronics that are necessary for the proper exchange of information with the test valve shall be included.

The criteria for test acceptance are that no spurious valve firing or false indication from the valve to control or protection system occur. The criteria apply to both the valve under test and the adjacent valve where fitted.

### 7.2.3 Non-periodic firing test

The test is performed as a part of the TCR/TSR and TSC optional tests (9.3 and 10.2, respectively).

The electronics of the valve under test shall be energized.

Those parts of the valve base electronics that are necessary for the proper exchange of information with the test valve shall be included.

The test object shall have operational fundamental frequency voltage (nominal service voltage) across its terminals. The tests shall be performed close to the peak of the voltage and run at both polarities of the voltage.

**NOTE** In many cases the non-periodic firing test objectives can be fulfilled by other tests e.g. for the TCR by the switching impulse test with VBO firing and for the TSC by the overcurrent tests.

The criteria for test acceptance are that no spurious valve firing or false indication from the valve to control or protection system occur. These criteria apply to both the test object and the adjacent valve.

## 8 Production tests

### 8.1 General

The specified tests define the minimum testing required. The supplier shall provide a detailed description of the test procedures to meet the test objectives.

### 8.2 Visual inspection

Test objective:

- a) to check that all materials and components are undamaged and correctly installed;
- b) to check data of components installed;
- c) to check air clearances and creepage distances within the valve.

### 8.3 Connection check

Test objective:

- a) to check that all the main current-carrying connections have been made correctly;
- b) to check the clamping force of thyristors;
- c) to check the point to point wiring.

#### **8.4 Voltage-dividing/damping circuit check**

Test objective: check the dividing/damping circuit parameters (resistance and capacitance) and thereby ensure that voltage sharing between series-connected thyristors will be correct.

#### **8.5 Voltage withstand check**

Test objective: check that the thyristor levels can withstand the voltage corresponding to the maximum value specified for the valve.

#### **8.6 Check of auxiliaries**

Test objective: 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.

#### **8.7 Firing check**

Test objective: check that the thyristors in each thyristor level turn on correctly in response to firing signals.

#### **8.8 Cooling system pressure test**

Test objective:

- a) check that there are no leaks;
- b) check for adequate flow, both in the valve as a whole and in all subcircuits;
- c) check the differential pressure.

#### **8.9 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.

### **9 Optional tests on TCR and TSR valves**

#### **9.1 Overcurrent test**

##### **9.1.1 Overcurrent with subsequent blocking**

##### **9.1.1.1 Objectives**

This test verifies the capability of the valve to withstand overcurrent with subsequent blocking at thyristor temperatures equal to the maximum value allowed by valve control or protection. The test considers the condition of d.c. trapped current where the overcurrent is terminated by blocking at high  $di/dt$ .

NOTE In many cases the objectives of this test can be satisfied by the periodic firing and extinction test (5.4.1), in which case this test may be omitted.

##### **9.1.1.2 Test values and waveshapes**

The valve shall be subjected to a reapplied voltage which approximates to the extinction waveshape experienced in service. The reapplied voltage may be produced either by a separate impulse generator or by the test circuit itself.

Waveshape 1: use a 20/200  $\mu s$  waveshape, which approximates a typical extinction waveshape, or an alternative approximation if supported by system studies.



$$U_{tsv} = k_s \times U_{cms} \text{ (waveshape 1)} \quad (36)$$

where

$U_{cms}$  is the minimum valve protective level defined by the surge arrester or VBO, or the guaranteed withstand level of the valve where no overvoltage protection is provided;

$k_s$  is a test factor;

$k_s = 0,9$ .

### 9.1.1.3 Test procedures

- Establish a maximum steady-state condition for current and maintain it until thermal equilibrium at steady-state junction temperature is reached.
- Subject the valve to an appropriate test current to raise the junction temperature to the maximum allowed by valve control and protection.
- Block the valve at a representative  $di/dt$ .
- Subject the valve to the reverse extinction overshoot voltage.

## 9.1.2 Overcurrent without blocking

### 9.1.2.1 Objectives

Fault conditions are assumed where the valve current exceeds the design limit. This test verifies the capability of the valve to withstand overcurrent without blocking until the SVC is tripped.

### 9.1.2.2 Test values and waveshapes

The test current shall have a peak value and a heating effect corresponding to the specified worst case time-dependent overvoltage, such that both directions of conduction are tested. The test duration shall be based on the SVC protection system.

### 9.1.2.3 Test procedures

The test circuit may be a power frequency current source with the test object and a reactor in series, or a suitable alternative circuit. No voltage need be applied to the valve at the end of the test.

- Preheat the valve or valve section so that the thyristor junctions reach the maximum steady-state operating temperature.
- Subject the valve to the current waveshape specified.

## 9.2 Positive voltage transient during recovery test

### 9.2.1 Objectives

It shall be demonstrated that the valve will not be damaged if a positive switching voltage impulse occurs at any instant after current extinction.

NOTE Where protection external to the valve is provided in order to permit the valve to withstand such an event, this protection should be included in the test.

### 9.2.2 Test values and waveshapes

Waveshape 1: use a 20/200  $\mu s$  waveshape, which approximates a typical extinction waveshape, or an alternative approximation if supported by system studies.

$$U_{tsv} = k_s \times U_{cms} \text{ (waveshape 1)} \quad (37)$$

where

$U_{cms}$  is the minimum valve protective level defined by the surge arrester or VBO, or the guaranteed withstand level of the valve where no overvoltage protection is provided;

$k_s$  is a test factor;

$k_s = 0,9$ .

This impulse voltage will change the polarity of the valve voltage after current extinction into a polarity which forward biases the thyristors which have just ceased conduction.

For test performed on a valve section, the amplitude  $U_{tsv}$  shall be scaled proportionally in accordance with 4.4.3.2.

### 9.2.3 Test procedures

- a) Carry an appropriate current through the valve such that the thyristor junction is fully spread and  $di/dt$  at turn off is correct.
- b) Block the valve at maximum steady-state junction temperature.
- c) Submit the valve or the valve section to the prospective voltage impulses specified above.

The impulse voltages shall be applied in not less than five time steps between the extinction of the current and a full recovery of the valve.

The test shall be performed for both directions of conduction of the valve.

## 9.3 Non-periodic firing test

### 9.3.1 Objectives

The objective of the non-periodic firing test is to check the adequacy of the thyristors and the associated electrical circuits with regard to current and voltage stresses at turn-on under non-periodic conditions. An additional objective is to verify the electromagnetic interference insensitivity of the valve (see Clause 7).

NOTE In many cases the objectives of this test can be satisfied by the valve terminal to terminal switching impulse test (5.3.3), in which case this test may be omitted.

### 9.3.2 Test values and waveshapes

The test shall be performed on a complete valve at room temperature.

The test circuit shall apply a switching impulse voltage to the valve and the valve shall be triggered into conduction at the peak of the impulse. The main task of the test circuit, after firing of the valve, is to reproduce the correct valve current at turn-on. The important time frame is the first 10  $\mu s$  to 20  $\mu s$  of conduction.

The surge generator shall be selected for its representative source impedance, in order to reproduce a turn-on current pulse at least as severe as the discharge of circuit stray capacitances as in service.

The turn-on stresses and the test circuit required depend on the method chosen for protecting the valves against transient overvoltages.

Waveshape 2: a standard 250/2 500  $\mu s$  waveshape shall be used.

#### a) Valve protected by surge arrester

The prospective test voltage  $U_{tsv2}$  is determined as follows:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \text{ (waveshape 2)} \quad (38)$$

where

$U_{cms}$  is the arrester protective level;

$k_s$  is a test safety factor;

$k_s = 1,0$ .

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

Two methods for achieving this are acceptable:

- 1) parallel capacitor method: in this method, a capacitor is connected in parallel with the test valve, whose value will result in a current discharge at least as severe as predicted for commutation of arrester current. The valve is triggered into conduction when the voltage reaches  $U_{tsv2}$ .
- 2) surge arrester method: in this method, a surge arrester is connected between the valve terminals and the test voltage is applied from behind an inductance representative of the TCR reactor. When the current in the arrester reaches the prescribed level, the valve is triggered into conduction.

Due to limitations in the practical size of impulse generators, the surge arrester method is suitable only for valves of low-voltage rating.

Where protection against valve firing during instants with current in the arrester is provided, commutation of arrester current does not have to be considered. Therefore the test level  $U_{cms}$  may be reduced to the maximum arrester non conduction voltage.

#### b) Valve protected by VBO

The prospective test voltage  $U_{tsv2}$  is determined as follows:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{VBO} \text{ (waveshape 2)} \quad (39)$$

where

$U_{VBO}$  is the minimum VBO protective voltage level;

$k_s$  is a test safety factor;

$k_s = 0,95$ .

If it can be shown that triggering by VBO action is equivalent to normal firing, then the test can be omitted, as the test objective is already demonstrated in the valve terminal to terminal switching impulse test (see 5.3.3).

#### c) Valve with no protection provided

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \text{ (waveshape 2)} \quad (40)$$

where

$U_{cms}$  is the switching impulse prospective voltage level according to IEC 60071-1, Table 3, or as determined by insulation coordination studies;

$k_s$  is a test safety factor;

$k_s = 1,3$  1,15.

### 9.3.3 Test procedures

One terminal of the valve may be earthed.

Apply three shots of the switching impulse voltage. The valve shall be triggered into conduction at the peak of the switching impulse voltages. Repeat for the reverse polarity (alternatively, reverse the terminals of the valve).

## 10 Optional tests on TSC valves

### 10.1 Positive voltage transient during recovery test

#### 10.1.1 Test objective

It shall be demonstrated that the valve will not be damaged if a positive switching impulse voltage occurs at any instant after current extinction.

NOTE Where protection external to the valve is provided in order to permit the valve to withstand such an event, this protection should be included in the test.

#### 10.1.2 Test values and waveshapes

Waveshape 1: use a 20/200  $\mu$ s waveshape which approximates a typical extinction waveshape, or an alternative approximation, if supported by system studies.

The prospective test voltage  $U_{tsv}$  shall be calculated from the following equation:

$$U_{tsv} = k_s \times U_{cms} \text{ (waveshape 1)} \quad (41)$$

where

$U_{cms}$  is the minimum valve switching impulse protective level defined by surge arrester, or the guaranteed withstand level of the valve where no overvoltage protection is provided;

$k_s$  is a test factor;

$k_s = 0,9$ .

This impulse voltage will change the polarity of the valve voltage after current extinction into that which forward biases the thyristors which have just ceased conduction. For the test performed on a valve section, the amplitude  $U_{tsv}$  shall be scaled proportionally in accordance with 4.4.3.2.

#### 10.1.3 Test procedures

- Carry an appropriate current through the valve such that the thyristor junction is fully spread and  $di/dt$  at turn off is correct.
- Block the valve at maximum steady-state junction temperature.
- Submit the valve or the valve section to the voltage impulses specified above.

The impulse voltage shall be applied in not less than five time steps between the extinction of the current and a full recovery of the valve.

The test shall be performed for both directions of conduction of the valve.

## 10.2 Non-periodic firing test

### 10.2.1 Objectives

The objective of the TSC valve non-periodic firing test is to check the adequacy of the thyristors and the associated electrical circuits with regard to current and voltage stresses at turn-on under non-repetitive conditions. An additional objective is to verify the electromagnetic interference insensitivity of the valve (see Clause 7).

NOTE In many cases the objectives of this test can be satisfied by the overcurrent test (see 6.4.1), in which case this test may be omitted.

### 10.2.2 Test values and waveshapes

The test shall be performed on a complete valve at room temperature.

The test circuit shall apply a switching impulse voltage to the valve, and the valve shall be triggered into conduction at the peak of the impulse. The main task of the test circuit, after firing the valve, is to reproduce the correct valve current at turn-on. The important time frame is the first 10 µs to 20 µs of conduction.

The surge generator shall be selected to have representative source impedance, so as to reproduce a turn-on current pulse at least as severe as the discharge of circuit stray capacitances in service.

The turn-on stresses and the test circuit depend on the method chosen for protecting the valves against transient overvoltages.

The impedance of the impulse generator shall be selected to reproduce not only the turn-on current arising from the discharge of circuit stray capacitance but also that arising from commutation of the surge arrester current, where this can occur.

Waveshape 2: a standard 250/2 500 µs shall be used.

#### a) Valve protected by surge arresters

The prospective test voltage  $U_{tsv2}$  shall be calculated from the following equation:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{waveshape 2}) \quad (42)$$

where

$U_{cms}$  is the arrester protective level for switching impulses;

$k_s$  is a test safety factor;

$k_s = 1,0$ .

Two methods for achieving this are acceptable:

- 1) parallel capacitor method: in this method, a capacitor is connected in parallel with the test valve, whose value will result in a current discharge at least as severe as predicted for commutation of the arrester current;
- 2) surge arrester method: in this method, a surge arrester is connected between the valve terminals, and the test voltage is applied from behind an inductance representative of the TSC series reactor. When the current in the arrester reaches the prescribed level, the valve is triggered into conduction.

Owing to limitations in the practical size of impulse generators, the surge arrester method may be possible only for valves of low-voltage rating.

Where protection against valve firing during instants with current in the arrester is provided, the commutation of arrester current does not have to be considered. Therefore, the test level  $U_{cms}$  may be reduced to the maximum arrester non-conduction voltage. In the overcurrent test (6.4.1) the objective of this test may already have been demonstrated, in which case this test may be omitted.

#### b) Valve with no protection provided

The prospective test voltage  $U_{tsv2}$  shall be calculated from the following equation:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \text{ (waveshape 2)} \quad (43)$$

where

$U_{cms}$  is the switching impulse prospective voltage level according to IEC 60071-1, Table 3, or as determined by insulation coordination studies;

$k_s$  is a test safety factor;

$k_s = 1,3$  or  $1,15$ .

#### 10.2.3 Test procedures

One terminal of the valve may be earthed.

Apply three shots at the switching voltage, the valve is triggered into conduction when the voltage reaches  $U_{tsv2}$ . Repeat for the reverse polarity (alternatively, reverse the terminals of the valve).

---



## SOMMAIRE

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                           | 49 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                | 51 |
| 2 Références normatives .....                                                                | 51 |
| 3 Termes et définitions .....                                                                | 52 |
| 4 Exigences générales pour les essais de type, de production et les essais facultatifs ..... | 53 |
| 4.1 Résumé des essais .....                                                                  | 53 |
| 4.2 Objectifs des essais .....                                                               | 54 |
| 4.2.1 Généralités .....                                                                      | 54 |
| 4.2.2 Essais diélectriques .....                                                             | 54 |
| 4.2.3 Essais opérationnels .....                                                             | 55 |
| 4.2.4 Essais de perturbations électromagnétiques .....                                       | 55 |
| 4.2.5 Essais de fabrication .....                                                            | 55 |
| 4.2.6 Essais facultatifs .....                                                               | 55 |
| 4.3 Instructions pour l'exécution des essais de type et des essais facultatifs .....         | 56 |
| 4.4 Conditions d'essai .....                                                                 | 56 |
| 4.4.1 Généralités .....                                                                      | 56 |
| 4.4.2 Température de la valve au cours des essais .....                                      | 58 |
| 4.4.3 Niveaux de thyristors redondants .....                                                 | 58 |
| 4.5 Défaillances de composant admissibles au cours des essais de type .....                  | 59 |
| 4.6 Documentation des résultats d'essai .....                                                | 59 |
| 4.6.1 Rapports d'essai à émettre .....                                                       | 59 |
| 4.6.2 Contenu d'un rapport d'essai de type .....                                             | 60 |
| 5 Essais de type des valves TCR et TSR .....                                                 | 60 |
| 5.1 Essais diélectriques entre bornes de valve et terre .....                                | 60 |
| 5.1.1 Généralités .....                                                                      | 60 |
| 5.1.2 Essai en courant alternatif .....                                                      | 60 |
| 5.1.3 Essai de tension de choc de foudre .....                                               | 61 |
| 5.2 Essais diélectriques entre valves (MVU uniquement) .....                                 | 62 |
| 5.2.1 Généralités .....                                                                      | 62 |
| 5.2.2 Essai en courant alternatif .....                                                      | 62 |
| 5.2.3 Essai de tension de choc de foudre .....                                               | 63 |
| 5.3 Essais diélectriques entre bornes de valve .....                                         | 63 |
| 5.3.1 Généralités .....                                                                      | 63 |
| 5.3.2 Essai en courant alternatif .....                                                      | 63 |
| 5.3.3 Essai de tension de choc de manœuvre .....                                             | 65 |
| 5.4 Essais opérationnels .....                                                               | 67 |
| 5.4.1 Essai d'amorçage et d'extinction périodiques .....                                     | 67 |
| 5.4.2 Essai à tension alternative minimale .....                                             | 68 |
| 5.4.3 Essai d'échauffement .....                                                             | 68 |
| 6 Essais de type des valves TSC .....                                                        | 69 |
| 6.1 Essais diélectriques entre bornes de valve et terre .....                                | 69 |
| 6.1.1 Généralités .....                                                                      | 69 |
| 6.1.2 Essai en courant alternatif – en courant continu .....                                 | 69 |
| 6.1.3 Essai de tension de choc de foudre .....                                               | 71 |



|        |                                                                                |    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.2    | Essais diélectriques entre valves (pour MVU uniquement) .....                  | 72 |
| 6.2.1  | Généralités .....                                                              | 72 |
| 6.2.2  | Essai en courant alternatif – en courant continu .....                         | 72 |
| 6.2.3  | Essai de tension de choc de foudre .....                                       | 74 |
| 6.3    | Essais diélectriques entre bornes de valve .....                               | 74 |
| 6.3.1  | Généralités .....                                                              | 74 |
| 6.3.2  | Essai en courant alternatif – en courant continu .....                         | 75 |
| 6.3.3  | Essai de tension de choc de manœuvre .....                                     | 77 |
| 6.4    | Essais opérationnels .....                                                     | 78 |
| 6.4.1  | Essais de surintensité .....                                                   | 78 |
| 6.4.2  | Essai de tension alternative minimale .....                                    | 81 |
| 6.4.3  | Essai d'échauffement .....                                                     | 82 |
| 7      | Essais de perturbations électromagnétiques .....                               | 82 |
| 7.1    | Objectifs .....                                                                | 82 |
| 7.2    | Procédures d'essai .....                                                       | 83 |
| 7.2.1  | Généralités .....                                                              | 83 |
| 7.2.2  | Essai de tension de choc de manœuvre .....                                     | 83 |
| 7.2.3  | Essai d'allumage non périodique .....                                          | 83 |
| 8      | Essais de fabrication .....                                                    | 83 |
| 8.1    | Généralités .....                                                              | 83 |
| 8.2    | Contrôle visuel .....                                                          | 84 |
| 8.3    | Contrôle des connexions .....                                                  | 84 |
| 8.4    | Contrôle du circuit diviseur/amortisseur des potentiels .....                  | 84 |
| 8.5    | Contrôle de la tenue en tension .....                                          | 84 |
| 8.6    | Contrôle des auxiliaires .....                                                 | 84 |
| 8.7    | Contrôle de l'amorçage .....                                                   | 84 |
| 8.8    | Essai de pression du circuit de refroidissement .....                          | 84 |
| 8.9    | Essais de décharges partielles .....                                           | 84 |
| 9      | Essais facultatifs sur valves TCR et TSR .....                                 | 85 |
| 9.1    | Essai de surintensité .....                                                    | 85 |
| 9.1.1  | Surintensité avec blocage résultant .....                                      | 85 |
| 9.1.2  | Surintensité sans blocage .....                                                | 85 |
| 9.2    | Essai de tension positive transitoire pendant la période de recouvrement ..... | 86 |
| 9.2.1  | Objectifs .....                                                                | 86 |
| 9.2.2  | Valeurs d'essai et formes d'ondes .....                                        | 86 |
| 9.2.3  | Procédures d'essai .....                                                       | 86 |
| 9.3    | Essai d'amorçage apériodique .....                                             | 87 |
| 9.3.1  | Objectifs .....                                                                | 87 |
| 9.3.2  | Valeurs d'essai et formes d'ondes .....                                        | 87 |
| 9.3.3  | Procédures d'essai .....                                                       | 88 |
| 10     | Essais facultatifs sur valves TSC .....                                        | 88 |
| 10.1   | Essai de tension positive transitoire pendant la période de recouvrement ..... | 88 |
| 10.1.1 | Objectif de l'essai .....                                                      | 88 |
| 10.1.2 | Valeurs d'essai et formes d'ondes .....                                        | 89 |
| 10.1.3 | Procédures d'essai .....                                                       | 89 |
| 10.2   | Essai d'amorçage apériodique .....                                             | 89 |
| 10.2.1 | Objectifs .....                                                                | 89 |
| 10.2.2 | Valeurs d'essai et formes d'ondes .....                                        | 89 |
| 10.2.3 | Procédures d'essai .....                                                       | 91 |

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 – Branche TSC.....                                                                             | 79 |
| Figure 2 – Surintensité à une boucle .....                                                              | 80 |
| Figure 3 – Surintensité à deux boucles .....                                                            | 81 |
| Tableau 1 – Liste des essais .....                                                                      | 53 |
| Tableau 2 – Nombre de niveaux de thyristors pouvant être défectueux au cours des<br>essais de type..... | 59 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**COMPENSATEURS STATIQUES DE PUISSANCE RÉACTIVE (SVC) –  
ESSAIS DES VALVES À THYRISTORS**

## AVANT-PROPOS

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

**Cette version consolidée de la CEI 61954 comprend la seconde édition (2011) [documents 22F/217/CDV et 22F/231A/RVC] et son amendement 1 (2013) [documents 22F/274/CDV et 22F/287A/RVC]. Elle porte le numéro d'édition 2.1.**

**Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et de son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1. Les ajouts et les suppressions apparaissent en rouge, les suppressions sont barrées.**

La Norme internationale CEI 61954 a été établie par le sous-comité 22F: Electronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution, du comité d'études 22 de la CEI: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

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

- a) Les définitions des termes « niveau de thyristor », « section de valve », « électronique de base de valve », « niveaux de thyristors redondants » ont été clarifiées.
- b) Les conditions pour les essais des sections de valves de thyristors à la place des thyristors complets ont été définies.
- c) Une exigence a été ajoutée afin que, suite à un essai de test, si un niveau de thyristor a été court-circuité, alors le niveau défaillant puisse être restauré et cet essai de type répété.
- d) La période de temps d'accroissement de la tension d'essai initiale de 50 % à 100 % pendant l'essai de type diélectrique en courant alternatif sur les valves TSC, TCR ou TSR, a été fixée à approximativement 10 s.
- e) La durée de l'essai de tension  $U_{ts2}$  pendant l'essai de type diélectrique c.a.-c.c. entre des bornes de valves TSC et la terre, ainsi que la durée de la tension d'essai  $U_{tvv2}$  pendant les essais diélectriques entre valves TSC (pour les MVU uniquement) a été modifiée de 30 min à 3 h.
- f) Suppression de la référence au nombre d'impulsions par minute de décharge partielle périodique enregistrées pendant les essais diélectriques c.a.-c.c. sur les valves TSC et dépassant le niveau admissible.

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

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

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

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

## COMPENSATEURS STATIQUES DE PUISSANCE REACTIVE (SVC) – ESSAIS DES VALVES A THYRISTORS

### 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale définit les essais de type, les essais de production et les essais facultatifs des valves à thyristors utilisées dans les bobines d'inductance commandées par thyristors (TCR<sup>1</sup>), les bobines d'inductance commutées par thyristors (TSR<sup>2</sup>) et les condensateurs commutés par thyristors (TSC<sup>3</sup>) qui font partie des compensateurs statiques de puissance réactive (SVC<sup>4</sup>) pour des applications de système de puissance. Les exigences de la présente norme s'appliquent tant aux unités à valve unique (monophasées) qu'aux unités à valves multiples (polyphasées).

Les Articles 4 à 7 décrivent les essais de type, c'est-à-dire les essais effectués pour s'assurer que la conception des valves satisfait aux exigences spécifiées. L'Article 8 traite des essais de production, c'est-à-dire les essais effectués pour s'assurer que la fabrication est correcte. Les Articles 9 et 10 décrivent des essais facultatifs, c'est-à-dire des essais supplémentaires aux essais de type et de production.

### 2 Références normatives

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

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

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

CEI 60060-2, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

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

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

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

CEI 60700-1:2008, *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) – Partie 1: Essais électriques*

---

<sup>1</sup> TCR = Thyristor Controlled Reactors.

<sup>2</sup> TSR = Thyristor Switched Reactors.

<sup>3</sup> TSC = Thyristor Switched Capacitors.

<sup>4</sup> SVC = Static Var Compensators.

### 3 Termes et définitions

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

#### 3.1

##### **niveau de thyristor**

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

#### 3.2

##### **chaîne de thyristors (en série)**

thyristors montés en série constituant une section unidirectionnelle d'une valve à thyristors

#### 3.3

##### **bobine d'inductance de valve**

bobine d'inductance intégrée à certaines valves pour limiter les contraintes

NOTE Dans le cadre des essais, la bobine est considérée comme une partie intégrante de la valve.

#### 3.4

##### **section de valve**

assemblage électrique, constitué d'un certain nombre de thyristors et autres composants, dont les propriétés électriques sont celles de la valve à thyristors complète proportionnellement ramenées au nombre d'éléments, mais ne disposant que d'une partie de la capacité de blocage en tension de la valve à thyristors complète, et qui peut être utilisé pour des essais

#### 3.5

##### **valve à thyristors**

assemblage électrique et mécanique, combiné, de niveaux de thyristors, muni de toutes les connexions, composants auxiliaires et structures mécaniques nécessaires, qui peut être connecté en série avec chaque phase de la bobine d'inductance ou du condensateur d'un compensateur statique de puissance réactive (SVC)

#### 3.6

##### **structure de valve**

structure physique qui isole les valves à un niveau de tension approprié au-dessus du potentiel de mise à la terre et les unes par rapport aux autres

#### 3.7

##### **électronique de base de la valve**

##### **VBE<sup>5</sup>**

unité électronique, au potentiel de mise à la terre, qui constitue l'interface entre les systèmes de commande du compensateur statique de puissance réactive et des valves à thyristors

#### 3.8

##### **unité de valve multiple**

##### **MVU<sup>6</sup>**

ensemble de plusieurs valves dans la même structure physique, qui ne peut être séparé pour les essais (par exemple des valves triphasées)

---

<sup>5</sup> VBE = *Valve Base Electronics*.

<sup>6</sup> MVU = *Multiple Valve Unit*.

**3.9****niveaux de thyristors redondants**

nombre maximal de niveaux de thyristors de la valve à thyristors qui peuvent être court-circuités, en interne ou en externe, en fonctionnement normal sans influencer la sûreté de fonctionnement de la valve à thyristors, comme démontré par les essais de type; et qui, s'il venait à être dépassé, et seulement dans ce cas, exigerait soit le débranchement de la valve à thyristors pour remplacer des thyristors défaillants, soit d'accepter une augmentation du risque de défaillance

**3.10****protection contre les claquages par surtension****VBO<sup>7</sup>**

moyen de protéger les thyristors contre les surtensions en les amorçant à une tension prédéterminée

## **4 Exigences générales pour les essais de type, de production et les essais facultatifs**

**4.1 Résumé des essais**

Le Tableau 1 fournit une liste des essais prescrits dans les articles et paragraphes ci-après.

**Tableau 1 – Liste des essais**

| Essai                                                                | Article ou paragraphe |       | Objet soumis à l'essai    |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------|---------------------------|
|                                                                      | TCR/TSR               | TSC   |                           |
| Essais diélectriques entre bornes de valve et terre (essais de type) |                       |       |                           |
| Essai en courant alternatif                                          | 5.1.2                 |       | Valve                     |
| Essai en courant alternatif/continu                                  |                       | 6.1.2 | Valve                     |
| Essai de tension de choc de foudre                                   | 5.1.3                 | 6.1.3 | Valve                     |
| Essais diélectriques entre valves (MVU uniquement) (essais de type)  |                       |       |                           |
| Essai en courant alternatif                                          | 5.2.2                 |       | MVU                       |
| Essai en courant alternatif/continu                                  |                       | 6.2.2 | MVU                       |
| Essai de tension de choc de foudre                                   | 5.2.3                 | 6.2.3 | MVU                       |
| Essais diélectriques entre bornes de valve (essais de type)          |                       |       |                           |
| Essai en courant alternatif                                          | 5.3.2                 |       | Valve                     |
| Essai en courant alternatif/continu                                  |                       | 6.3.2 | Valve                     |
| Essai de tension de choc de manœuvre                                 | 5.3.3                 | 6.3.3 | Valve                     |
| Essais opérationnels (essais de type)                                |                       |       |                           |
| Essai d'extinction et d'allumage périodique                          | 5.4.1                 |       | Valve ou section de valve |
| Essai de surintensité                                                |                       | 6.4.1 | Valve ou section de valve |
| Essai de tension alternative minimale                                | 5.4.2                 | 6.4.2 | Valve ou section de valve |
| Essai d'échauffement                                                 | 5.4.3                 | 6.4.3 | Valve ou section de valve |
| Essais de perturbations électromagnétiques (essais de type)          |                       |       |                           |
| Essai de tension de choc de manœuvre                                 | 7.2.2                 | 7.2.2 | Valve                     |
| Essai d'allumage non périodique                                      | 7.2.3                 | 7.2.3 | Valve                     |

<sup>7</sup> VBO = Voltage Breakover.

| Essai                                                                    | Article ou paragraphe |      | Objet soumis à l'essai    |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------|---------------------------|
|                                                                          | TCR/TSR               | TSC  |                           |
| Essais de fabrication                                                    |                       |      |                           |
| Contrôle visuel                                                          | 8.2                   | 8.2  |                           |
| Contrôle des connexions                                                  | 8.3                   | 8.3  |                           |
| Contrôle du circuit de répartition des potentiels                        | 8.4                   | 8.4  |                           |
| Contrôle de la tenue en tension                                          | 8.5                   | 8.5  |                           |
| Contrôle des auxiliaires                                                 | 8.6                   | 8.6  |                           |
| Contrôle de l'amorçage                                                   | 8.7                   | 8.7  |                           |
| Essai de pression du circuit de refroidissement                          | 8.8                   | 8.8  |                           |
| Essais de décharges partielles                                           | 8.9                   | 8.9  |                           |
| Essais facultatifs                                                       |                       |      |                           |
| Essai de surintensité                                                    | 9.1                   |      | Valve ou section de valve |
| Essai de tension positive transitoire pendant la période de recouvrement | 9.2                   | 10.1 | Valve ou section de valve |
| Essai d'amorçage apériodique                                             | 9.3                   | 10.2 | Valve                     |

## 4.2 Objectifs des essais

### 4.2.1 Généralités

Les essais décrits s'appliquent à la valve (ou sections de valve), à la structure de la valve ainsi qu'aux parties du circuit de distribution du réfrigérant et des circuits d'amorçage et de contrôle contenus dans la structure de la valve ou branchés entre la structure de la valve et la terre. D'autres équipements, tels que l'électronique de commande et de protection de la valve ainsi que l'électronique de base de la valve, peuvent être nécessaires pour démontrer le fonctionnement correct de la valve durant l'essai, mais ne sont pas eux-mêmes soumis aux essais.

### 4.2.2 Essais diélectriques

#### 4.2.2.1 Généralités

Les essais relatifs aux contraintes diélectriques suivantes sont spécifiés:

- tension alternative;
- tension alternative et continue combinées (TSC uniquement);
- tensions de choc.

Dans l'intérêt de la standardisation avec d'autres équipements, des essais de tension de choc de foudre entre bornes de la valve et terre ainsi qu'entre phases d'une MVU sont inclus. Pour des essais entre bornes de valve, seul l'essai de tension de choc de manœuvre est spécifié.

#### 4.2.2.2 Essais sur la structure de la valve

Des essais sont définis pour les exigences de tenue en tension entre une valve (dont les bornes sont court-circuitées) et la terre, ainsi qu'entre valves d'une MVU. Les essais doivent démontrer que

- des distances d'isolement suffisantes ont été prévues pour éviter les contournements;
- il n'y a pas de décharges disruptives dans l'isolation de la structure de la valve, des conduits de refroidissement, des conduits de lumière et autres pièces d'isolement des circuits de transmission et de distribution des impulsions;



- les tensions d'apparition et d'extinction des décharges partielles en régime alternatif et en régime continu sont supérieures à la tension de service maximale en régime établi apparaissant sur la structure de la valve.

#### **4.2.2.3 Essais entre bornes de valve**

L'objet de ces essais est de vérifier la conception de la valve en termes de tenue en tension entre ses bornes. Les essais doivent démontrer que

- un isolement interne suffisant a été prévu pour permettre à la valve de supporter les tensions spécifiées;
- les tensions d'apparition et d'extinction des décharges partielles en régime alternatif et en régime continu sont supérieures à la tension de service maximale en régime établi apparaissant entre les bornes de la valve;
- le système d'amorçage pour la protection contre les surtensions (s'il est fourni) fonctionne comme prévu;
- les thyristors ont une capacité  $du/dt$  adaptée aux conditions de service. (Dans la plupart des cas, les essais spécifiés sont suffisants; cependant, dans certains cas exceptionnels, il est admis que des essais supplémentaires soient prescrits).

#### **4.2.3 Essais opérationnels**

L'objet de ces essais est de vérifier la conception de la valve en termes de tenue en tension et en courant combinés dans des conditions normales et anormales répétitives ainsi que dans des conditions de défaut transitoire. Ils doivent démontrer que, dans des conditions spécifiées:

- la valve fonctionne correctement;
- les contraintes en tension et en courant lors de l'amorçage et du blocage des thyristors sont compatibles avec les capacités des thyristors et autres circuits internes;
- le refroidissement prévu est approprié et aucun composant n'est surchauffé;
- la tenue en surcharge courant de la valve est appropriée.

#### **4.2.4 Essais de perturbations électromagnétiques**

Le principal objectif de ces essais est de démontrer l'immunité de la valve aux perturbations électromagnétiques de source interne ou externe à la valve. En général, l'immunité aux perturbations électromagnétiques est démontrée en instrumentant la valve pendant d'autres essais.

#### **4.2.5 Essais de fabrication**

L'objectif de ces essais est de vérifier que la fabrication de la valve est correcte. Les essais de fabrication doivent démontrer que

- tous les matériaux, composants et sous-ensembles utilisés dans la valve ont été correctement installés;
- les équipements de la valve fonctionnent comme prévu, et les paramètres prédéfinis s'inscrivent dans les limites d'acceptation prescrites;
- les niveaux de thyristors et la valve ou les sections de valve ont une tenue en tension suffisante;
- la fabrication est fidèle et uniforme.

#### **4.2.6 Essais facultatifs**

Les essais facultatifs sont des essais supplémentaires qui peuvent être effectués, sous réserve de l'accord entre l'acheteur et le fournisseur. Les objectifs sont les mêmes que pour

les essais opérationnels spécifiés en 4.2.2. L'objet d'essai est en principe une valve ou un nombre de sections de valve équivalent approprié.

### 4.3 Instructions pour l'exécution des essais de type et des essais facultatifs

Les principes suivants doivent s'appliquer:

- les essais de type doivent être effectués sur au moins une valve ou un nombre approprié de sections de valve, tel qu'indiqué dans le Tableau 1 (voir 4.1), afin de s'assurer que la conception de la valve satisfait aux exigences spécifiées. Tous les essais de type doivent être effectués sur la ou les mêmes valves ou sections de valve;
- à condition de démontrer que la valve est similaire à une autre valve précédemment soumise aux essais, il est admis que le fournisseur soumette un rapport certifié de tout essai de type précédent dont les exigences sont au moins égales à celles qui sont spécifiées dans le contrat, en lieu et place de l'essai de type;
- pour les essais de type effectués sur les sections de valve, le nombre total de niveaux de thyristors soumis à ces essais de type doit être au moins égal au nombre de niveaux de thyristors dans une valve complète;
- la valve ou les sections de valve utilisées pour les essais de type doivent au préalable réussir tous les essais de fabrication. Une fois les essais de type réalisés, la valve ou les sections de valve doivent être vérifiées de nouveau afin de s'assurer de leur conformité aux critères d'essais de fabrication;
- le matériel destiné aux essais de type doit être sélectionné de manière aléatoire;
- les essais diélectriques doivent être réalisés conformément à la CEI 60060-1 et à la CEI 60060-2, le cas échéant;
- il est admis d'effectuer les essais individuels dans n'importe quel ordre.

NOTE Les essais impliquant une mesure de décharges partielles sont plus pertinents s'ils sont réalisés à la fin du programme d'essais de type diélectriques.

### 4.4 Conditions d'essai

#### 4.4.1 Généralités

##### 4.4.1.1 Objets d'essais diélectriques

Les essais diélectriques doivent être réalisés sur des valves complètement montées, tandis qu'il est admis d'effectuer certains essais opérationnels soit sur des valves complètes, soit sur des sections de valve. Les essais qui peuvent être effectués sur des sections de valve sont identifiés en 4.1.

La valve doit être équipée de tous les composants auxiliaires, à l'exception du parafoudre de valve, si existant. Sauf spécification contraire, l'électronique de la valve doit être alimentée. Les fluides de refroidissement et d'isolement, entre autres, doivent être dans un état représentatif des conditions de service, comme par exemple la conductivité, sauf pour ce qui est du débit et de la teneur en agents antigels, qui peuvent être réduits. Si un objet ou un dispositif externe à la structure est nécessaire pour représenter de manière correcte les contraintes subies pendant l'essai, il doit également être présent ou simulé pendant l'essai. Les pièces métalliques de la structure de la valve (ou les autres valves dans une MVU) qui ne font pas partie de l'essai doivent être reliées ensemble et raccordées à la terre de manière convenable pour l'essai concerné.

##### 4.4.1.2 Correction atmosphérique

Lorsque ceci est spécifié dans l'article correspondant, une correction atmosphérique doit être appliquée aux tensions d'essai, conformément à la CEI 60060-1. Les conditions de référence auxquelles une correction doit être apportée sont les suivantes:

- pression:

Si la coordination de l'isolement de la partie de la valve à thyristors essayée est basée sur les tensions de tenue assignées normales conformément à la CEI 60071-1, les facteurs de correction sont uniquement appliqués pour des altitudes supérieures à 1 000 m. Ainsi, si l'altitude du site  $a_s$  à laquelle le matériel sera installé est inférieure à 1 000 m, alors la pression atmosphérique normale ( $b_0 = 101,3$  kPa) doit être utilisée sans correction de l'altitude. Si  $a_s > 1\,000$  m, alors la procédure normale selon la CEI 60060-1 est utilisée, à l'exception près que la pression atmosphérique de référence  $b_0$  est remplacée par la pression atmosphérique correspondant à une altitude de 1 000 m ( $b_{1\,000m}$ ).

Si la coordination de l'isolement de la partie de la valve à thyristors essayée n'est pas basée sur les tensions de tenue assignées normales conformément à la CEI 60071-1, alors la procédure normale selon la CEI 60060-1 est utilisée avec la pression atmosphérique de référence  $b_0$  ( $b_0 = 101,3$  kPa).

- température:

température théorique maximale de l'air dans la salle des valves (°C).

- humidité:

humidité théorique absolue minimale dans la salle des valves ( $\text{g/m}^3$ ).

Les valeurs à utiliser doivent être spécifiées par le fournisseur.

Lorsque des niveaux d'essais non normalisés sont définis par la présente norme, un facteur de correction de la densité de l'air sur le site,  $k_d$ , tel que défini ci-dessous, doit être appliqué lorsque cela est indiqué.

La valeur de  $k_d$  doit être déterminée à partir de l'expression suivante:

$$k_d = \frac{b_1}{b_2} \times \frac{273 + T_2}{273 + T_1} \quad (1)$$

où

- $b_1$  est la pression de l'air ambiant du laboratoire, exprimée en pascals (Pa);
- $T_1$  est la température de l'air ambiant du laboratoire, exprimée en degrés Celsius (°C);
- $b_2$  est l'atmosphère de référence normalisée de 101,3 kPa (c'est-à-dire 1 013 mbar), corrigée en fonction de l'altitude du site où les équipements seront installés;
- $T_2$  est la température théorique maximale de l'air dans la salle de la valve, exprimée en degrés Celsius (°C).

Il convient de n'appliquer les facteurs de correction ni aux essais diélectriques entre les bornes de la valve, ni aux essais diélectriques de longue durée, dont l'objectif principal est de vérifier l'isolation interne et les décharges partielles.

#### 4.4.1.3 Essais opérationnels

Lorsque c'est possible, il convient d'effectuer les essais sur une valve à thyristors complète. Sinon, les essais peuvent être effectués sur des sections de valve à thyristors. Le choix dépend principalement des caractéristiques de conception des valves à thyristors et des moyens d'essais à disposition. Lorsqu'il est proposé d'effectuer des essais sur des sections de valve à thyristors, les essais spécifiés dans la présente norme sont valables pour des sections de valve à thyristors qui comprennent au moins cinq niveaux de thyristors montés en série. S'il est proposé d'effectuer les essais sur une section de valve comportant moins de cinq niveaux de thyristors, des facteurs de sécurité supplémentaires sur les niveaux d'essai, définis d'un commun accord doivent être appliqués. En aucun cas le nombre de niveaux de thyristors montés en série dans une section de valve à thyristors ne doit être inférieur à trois.

Il est quelquefois admis d'effectuer des essais opérationnels à une fréquence industrielle autre que la fréquence de service, par exemple 50 Hz au lieu de 60 Hz. Certaines contraintes opérationnelles telles que les pertes de commutation ou  $I^2t$  du courant de court-circuit sont affectées par la fréquence industrielle réelle utilisée au cours des essais. Dans ce cas, les conditions d'essai doivent être revues et des modifications appropriées doivent être mises en œuvre afin de s'assurer que les contraintes de la valve sont au moins aussi sévères que si les essais étaient effectués à la fréquence de service.

Le réfrigérant doit être dans un état représentatif des conditions de service. En particulier, le débit et la température doivent être réglés à leurs valeurs les plus défavorables pour l'essai en question. Il convient, de préférence, que la teneur en agents antigel soit équivalente aux conditions de service; cependant, lorsque cela n'est pas réalisable, un facteur de correction convenu entre le fournisseur et l'acheteur doit être appliqué.

**Les facteurs de correction atmosphérique ne sont pas applicables aux essais opérationnels.**

#### **4.4.2 Température de la valve au cours des essais**

##### **4.4.2.1 Température de la valve pour les essais diélectriques**

Sauf spécification contraire, les essais doivent être effectués à température ambiante.

##### **4.4.2.2 Température de la valve pour les essais opérationnels**

Sauf spécification contraire, les essais doivent être effectués dans des conditions reproduisant la température de composant la plus élevée qui peut apparaître en fonctionnement réel.

Si plusieurs composants doivent être vérifiés par un essai donné, il peut être nécessaire d'effectuer le même essai dans des conditions différentes.

#### **4.4.3 Niveaux de thyristors redondants**

##### **4.4.3.1 Essais diélectriques**

Sauf indication contraire, tous les essais diélectriques d'une valve complète doivent être effectués en court-circuitant les niveaux de thyristors redondants.

##### **4.4.3.2 Essais opérationnels**

Pour les essais opérationnels, il convient que les niveaux de thyristors redondants ne soient pas court-circuités. Les tensions d'essai appliquées et les impédances du circuit utilisées doivent être ajustées à l'aide d'un facteur d'échelle  $k_n$ .

$$k_n = \frac{N_{\text{tot}}}{N_t - N_r} \quad (2)$$

où

$N_{\text{tot}}$  est le nombre total de niveaux de thyristors montés en série dans l'objet d'essai;

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

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

NOTE Dans les valves à thyristors avec un petit nombre de niveaux de thyristors où la redondance constitue une part importante du total, cela peut conduire à imposer une contrainte excessive sur certains composants de la valve. En variante, il est admis d'effectuer les essais opérationnels avec des niveaux de thyristors redondants court-circuités et sans ajustement des tensions d'essai et des impédances à l'aide du facteur d'échelle  $k_n$ .

#### 4.5 Défaillances de composant admissibles au cours des essais de type

L'expérience industrielle montre que, même avec une conception des valves la plus soignée, il n'est pas possible d'éviter des défaillances aléatoires occasionnelles de composants des niveaux de thyristors au cours d'un fonctionnement en service. Même si ces défaillances peuvent être liées à des contraintes, elles sont considérées comme aléatoires, dans la mesure où la cause de la défaillance ou la relation entre le taux de défaillance et la contrainte ne peut pas être prévue ou ne peut pas être défini quantitativement de manière précise. Les essais de type soumettent les valves ou les sections de valve, en un court laps de temps, à des contraintes multiples qui correspondent généralement aux contraintes les plus défavorables pouvant être rencontrées par les équipements pas plus de quelques fois au cours de la durée de vie de la valve. En considérant les éléments ci-dessus, les critères pour des essais de type réussis indiqués ci-dessous, autorisent par conséquent la défaillance d'un petit nombre de niveaux de thyristors au cours des essais de type, à condition qu'elles soient essentiellement aléatoires et ne présentent pas de mode de défaillance indiquant une éventuelle inadéquation de la conception.

Les valves ou sections de valve doivent être contrôlées avant chaque essai, après tout essai d'étalonnage préliminaire et, de nouveau, après chaque essai de type, afin de déterminer les éventuelles défaillances de thyristors ou de composants auxiliaires pendant l'essai. Si des défaillances de thyristors ou de composants auxiliaires sont décelées à la fin d'un essai de type, elles doivent être traitées avant de poursuivre les essais de la valve.

La défaillance d'un niveau de thyristor par court-circuit est admise dans n'importe quel essai de type. Si, suite à un essai de type, un niveau de thyristor est devenu court-circuité, le niveau en défaut doit être rétabli et l'essai de type répété (voir 4.4.1b) dans la CEI 60700-1, Amendement 1). Le nombre total de niveaux de thyristors pouvant être défectueux au cours de l'ensemble des essais, est donné dans le Tableau 2.

La répartition des niveaux court-circuités et des autres défauts de niveaux de thyristors à la fin de l'ensemble des essais de type doit être essentiellement aléatoire et ne doit pas présenter de mode de défaillance indiquant une éventuelle inadéquation de la conception.

#### 4.6 Documentation des résultats d'essai

##### 4.6.1 Rapports d'essai à émettre

Le fournisseur doit fournir des rapports d'essai certifiés de tous les essais de type effectués sur les valves ou les sections de valve.

Les enregistrements des résultats des essais individuels de série doivent être fournis par le fournisseur.

**Tableau 2 – Nombre de niveaux de thyristors pouvant être défectueux au cours des essais de type**

| Nombre de niveaux de thyristors dans une valve complète | Nombre de niveaux de thyristors pouvant être défectueux en court-circuit dans chaque essai de type | Nombre total de niveaux de thyristors pouvant être défectueux en court-circuit dans l'ensemble des essais de type | Nombre supplémentaire de niveaux de thyristors, dans l'ensemble des essais de type, ayant pu subir un défaut, mais qui n'ont pas été court-circuités |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <34                                                     | 1                                                                                                  | 2                                                                                                                 | 2                                                                                                                                                    |
| 34 < n < 68                                             | 1                                                                                                  | 3                                                                                                                 | 3                                                                                                                                                    |
| 68 < n < 101                                            | 1                                                                                                  | 4                                                                                                                 | 4                                                                                                                                                    |

#### 4.6.2 Contenu d'un rapport d'essai de type

Un rapport des essais de type réalisés sur les valves à thyristors doit être réalisé. Le rapport doit comprendre ce qui suit:

- a) des informations générales telles que:
  - l'identification de l'équipement soumis à l'essai (par exemple type et caractéristiques assignées, numéro de dessin, numéro de série, etc.);
  - l'identification des principales parties des objets soumis aux essais (par exemple thyristors, bobines d'inductance de valve, cartes de circuit imprimé, etc.);
  - le nom et l'emplacement du laboratoire où l'essai a été effectué;
  - les conditions d'essai, si pertinentes (par exemple température, humidité et pression barométrique pendant les essais diélectriques, etc.);
  - la référence à la spécification d'essai;
  - les dates des essais;
  - le ou les noms et signatures du personnel responsable;
  - la signature du contrôleur de l'acheteur (s'il était présent) et visa d'approbation (s'il est exigé);
- b) une description des sources d'énergie (par exemple générateur de tension de choc, source de tension continue, etc.) utilisées pour chaque essai particulier, telles que le nom du fabricant, les caractéristiques assignées, les propriétés, etc.;
- c) une description des instruments de mesure, y compris les informations sur la précision garantie et la date du dernier étalonnage;
- d) des informations détaillées sur le dispositif utilisé pour chaque essai (par exemple montage électrique);
- e) une description des procédures d'essai;
- f) toutes dérogations ou écarts convenus;
- g) des résultats sous forme de tableau, y compris photographies, oscillogrammes, graphiques, etc.;
- h) des rapports sur les défaillances des composants ou autres événements inhabituels;
- i) les conclusions et recommandations éventuelles.

### 5 Essais de type des valves TCR et TSR

#### 5.1 Essais diélectriques entre bornes de valve et terre

##### 5.1.1 Généralités

Pour ces essais, chaque valve à thyristors doit être court-circuitée entre ses bornes ou à travers ses niveaux de thyristors individuels.

Pour des valves appartenant à une MVU, toutes les valves dans la même structure doivent être court-circuitées et reliées entre elles. La tension d'essai doit être appliquée entre toutes les valves et la terre.

Voir 4.4.1.1 pour d'autres exigences détaillées concernant l'objet d'essai.

##### 5.1.2 Essai en courant alternatif

###### 5.1.2.1 Objectifs

Voir 4.2.2.1.

### 5.1.2.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

$U_{ts1}$  et  $U_{ts2}$  ont des formes d'ondes sinusoïdales d'une fréquence de 50 Hz ou 60 Hz, selon les moyens d'essai.  $U_{ts1}$  est la tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle normalisée selon la CEI 60071-1, Tableau 2.  $U_{ts2}$  doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$U_{ts2} = \frac{k_{s2} \times U_{ms2}}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

où

$U_{ms2}$  est la valeur crête de la tension maximale de service en régime permanent, y compris les dépassements survenant lors du blocage des thyristors apparaissant entre n'importe quelle borne de la valve et la terre;

$k_{s2}$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{s2} = 1,2$ .

### 5.1.2.3 Procédures d'essai

L'essai consiste à appliquer les tensions d'essai spécifiées  $U_{ts1}$  et  $U_{ts2}$  pendant la durée spécifiée entre les deux bornes de la valve interconnectées et la terre.

- Augmenter la tension de 50 % de  $U_{ts1}$  à 100 % de  $U_{ts1}$  en environ 10 s.
- Maintenir  $U_{ts1}$  pendant 1 min.
- Réduire la tension de 100 % de  $U_{ts1}$  à  $U_{ts2}$ .
- Maintenir  $U_{ts2}$  pendant 10 min, enregistrer le niveau des décharges partielles, puis réduire la tension de  $U_{ts2}$  à zéro.
- La valeur crête des décharges partielles périodiques enregistrée pendant la dernière minute de l'étape d) doit être inférieure à 200 pC, à condition que les composants qui sont sensibles aux décharges partielles dans la valve aient été soumis à des essais de manière séparée, ou alors, 50 pC dans le cas contraire.
- Les tensions d'apparition et d'extinction doivent être mesurées conformément à la CEI 60270.

## 5.1.3 Essai de tension de choc de foudre

### 5.1.3.1 Objectifs

Voir 4.2.2.1.

### 5.1.3.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

Une forme d'onde normalisée de 1,2/50  $\mu$ s, conformément à la CEI 60060, doit être utilisée.

La valeur crête de la tension d'essai est la tension de tenue normalisée aux chocs de foudre selon la CEI 60071-1, Tableau 2 ou 3.

### 5.1.3.3 Procédures d'essai

L'essai doit comprendre trois applications de tension de choc de foudre de polarité positive et trois applications de tension de choc de foudre de polarité négative entre la terre et les deux bornes de la valve reliées ensemble.



## 5.2 Essais diélectriques entre valves (MVU uniquement)

### 5.2.1 Généralités

Pour ces essais, chaque valve à thyristors doit être court-circuitée entre ses bornes ou à travers ses niveaux de thyristors individuels.

Les essais doivent être recommencés pour vérifier l'isolement entre toutes les paires de valves placées dans la même structure, à moins que la disposition physique de la MVU ne les rende inutiles.

Voir 4.4.1.1 pour d'autres exigences détaillées concernant l'objet d'essai.

### 5.2.2 Essai en courant alternatif

#### 5.2.2.1 Objectifs

Voir 4.2.2.1.

#### 5.2.2.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

$U_{ts1}$  et  $U_{ts2}$  ont des formes d'ondes sinusoïdales d'une fréquence de 50 Hz ou 60 Hz, selon les moyens d'essai.  $U_{ts1}$  est la tension de tenue de courte durée à fréquence industrielle normalisée selon la CEI 60071-1, Tableau 2.  $U_{ts2}$  doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$U_{ts2} = \frac{k_{s2} \times U_{ms3}}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

où

$U_{ms3}$  est la valeur crête de la tension maximale de service en régime permanent, y compris les dépassements survenant lors du blocage des thyristors, apparaissant entre les valves;

$k_{s2}$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{s2} = 1,2$ .

#### 5.2.2.3 Procédures d'essai

L'essai consiste à appliquer les tensions d'essai spécifiées  $U_{ts1}$  et  $U_{ts2}$  pendant la durée spécifiée entre les valves.

- Augmenter la tension de 50 % à 100 % de  $U_{ts1}$  en environ 10 s.
- Maintenir  $U_{ts1}$  pendant 1 min.
- Réduire la tension à  $U_{ts2}$ .
- Maintenir  $U_{ts2}$  pendant 10 min, enregistrer le niveau des décharges partielles, puis réduire la tension à zéro.
- La valeur crête des décharges partielles périodiques enregistrée pendant la dernière minute de l'étape d) doit être inférieure à 200 pC, à condition que les composants qui sont sensibles aux décharges partielles dans la valve aient été soumis à des essais de manière séparée, ou alors, 50 pC dans le cas contraire.
- Les tensions d'apparition et d'extinction doivent être mesurées conformément à la CEI 60270.



### 5.2.3 Essai de tension de choc de foudre

#### 5.2.3.1 Objectifs

Voir 4.2.2.1.

#### 5.2.3.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

Une forme d'onde normalisée de 1,2/50 µs doit être utilisée.

La valeur crête de la tension d'essai est la tension de tenue aux chocs de foudre normalisée selon la CEI 60071-1, Tableau 2 ou 3.

#### 5.2.3.3 Procédures d'essai

L'essai doit comprendre trois applications de tension de choc de foudre de polarité positive et trois applications de tension de choc de foudre de polarité négative entre les valves.

### 5.3 Essais diélectriques entre bornes de valve

#### 5.3.1 Généralités

Pour des valves appartenant à une unité de valve multiple, il est nécessaire d'effectuer ces essais uniquement sur une seule valve. Chaque autre valve dans la même structure doit être court-circuitée entre ses bornes ou à travers ses niveaux de thyristors individuels, et reliée à la terre.

Voir 4.4.1.1 pour des exigences détaillées de l'objet d'essai.

#### 5.3.2 Essai en courant alternatif

##### 5.3.2.1 Objectifs

Voir 4.2.2.2.

##### 5.3.2.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

$U_{tv1}$  et  $U_{tv2}$  ont des formes d'ondes sinusoïdales d'une fréquence de 50 Hz ou 60 Hz, selon les moyens d'essai.

La valeur de la tension d'essai  $U_{tv1}$  dépend du système de protection de la valve, et est égale à la plus faible des valeurs de  $U_{tv11}$ ,  $U_{tv12}$  ou  $U_{tv13}$ . Lorsque ni  $U_{tv11}$  ni  $U_{tv12}$  ne peuvent être déterminées,  $U_{tv13}$  doit être utilisée.

$U_{tv11}$  est déterminée par l'allumage de protection VBO de la valve;

$U_{tv12}$  est déterminée par le niveau de protection des parafoudres;

$U_{tv13}$  est déterminée par la surtension temporaire maximale qui peut avoir lieu.

$U_{tv11}$ ,  $U_{tv12}$  et  $U_{tv13}$  doivent être évaluées comme suit:

$$U_{tv11} = \frac{k_{s11} \times U_1}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

où

$U_1$  est la valeur instantanée maximale de la tension entre bornes de la valve qui est garantie pour ne pas déclencher le système de protection VBO, s'il est utilisé;

$k_{s11}$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{s11} = 0,95$ .

$$U_{tv12} = \frac{k_{s12} \times U_2}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

où

$U_2$  est la tension de protection du parafoudre, s'il est utilisé, connecté entre les bornes de la valve;

$k_{s12}$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{s12} = 1,1$ .

$$U_{tv13} = \frac{k_{s13} \times U_3}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

où

$U_3$  est la valeur crête de la surtension répétitive maximale, y compris les dépassements survenant lors du blocage des thyristors, entre les bornes de la valve pour l'état de surtension temporaire le plus sévère spécifié;

$k_{s13}$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{s13} = 1,3$  à  $1,15$ .

NOTE L'essai prescrit peut appliquer sur certains composants de la valve des surcontraintes thermiques irréalistes. Dans ce cas, et sous réserve de l'accord entre l'acheteur et le fournisseur, l'essai de tenue en tension alternative de 1 min peut être remplacé par plusieurs essais plus courts dont la durée minimale est déterminée sur la base de la durée maximale possible de la condition de surtension spécifiée multipliée par 2, mais d'une durée totale d'au moins 1 min. Des valeurs d'essais plus contraignantes de  $U_{tv13}$  peuvent être convenues entre l'acheteur et le fournisseur.

La tension d'essai  $U_{tv2}$  doit être choisie parmi la valeur la plus faible de  $U_{tv1}$  et  $U_{tv21}$ :

$$U_{tv21} = \frac{k_{s2} \times U_{mv2}}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

où

$U_{mv2}$  est la valeur crête de la tension répétitive maximale, y compris les dépassements survenant lors du blocage des thyristors, apparaissant entre les bornes de la valve pendant l'état de service en régime établi le plus sévère;

$k_{s2}$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{s2} = 1,15$ .

### 5.3.2.3 Procédures d'essai

L'essai consiste à appliquer les tensions d'essai spécifiées, pendant la durée spécifiée, entre les deux bornes de la valve. L'une des bornes de la valve peut être mise à la terre.

a) Augmenter la tension de 50 % à 100 % de  $U_{ts1}$  en environ 10 s.

b) Maintenir  $U_{tv1}$  pendant 1 min.

c) Réduire la tension à  $U_{tv2}$ .

- d) Maintenir  $U_{tv2}$  pendant 10 min, enregistrer le niveau des décharges partielles, puis réduire la tension à zéro.
- e) La valeur crête des décharges partielles périodiques enregistrée pendant la dernière minute de l'étape d) doit être inférieure à 200 pC, à condition que les composants qui sont sensibles aux décharges partielles dans la valve aient été soumis à des essais de manière séparée, ou alors, 50 pC dans le cas contraire.
- f) Les tensions d'apparition et d'extinction doivent être mesurées conformément à la CEI 60270.

Si un système de protection VBO est fourni, il ne doit pas fonctionner pendant cet essai.

### 5.3.3 Essai de tension de choc de manœuvre

#### 5.3.3.1 Objectifs

Voir 4.2.2.2. Un autre objectif est de vérifier l'immunité de la valve aux perturbations électromagnétiques (voir l'Article 7).

#### 5.3.3.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

- Forme d'onde 1:

Utiliser une forme d'onde de 20/200  $\mu$ s qui s'approche, autant que possible, d'une forme d'onde d'extinction type, ou une autre forme d'onde approchée, si elle est acceptable du point de vue des études système.

- Forme d'onde 2:

Utiliser une forme d'onde normalisée de 250/2 500  $\mu$ s.

#### a) Essai 1

Cet essai est destiné à vérifier que le système d'amorçage de protection de la valve (s'il est applicable à la conception de la valve) ne fonctionnera pas pour des valeurs de tension inférieures ou égales à la tension d'essai.

La tension d'essai  $U_{tsv1}$  est déterminée de la manière suivante:

$$U_{tsv1} = k_s \times U_{pf} \quad (\text{formes d'ondes 1 et 2}) \quad (9)$$

où

$U_{pf}$  est la valeur de la tension de choc que la valve doit supporter sans amorcer le système d'amorçage de protection dans les conditions de service;

$k_s$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_s = 1,05$ .

#### b) Essai 2

Cet essai est destiné à vérifier l'isolement de la valve et le fonctionnement correct du système d'amorçage de protection (s'il est applicable à la conception de la valve).

- Valves protégées par des parafoudres:

La tension d'essai présumée  $U_{tsv2}$  est déterminée de la manière suivante:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{formes d'ondes 1 et 2}) \quad (10)$$

où

$U_{cms}$  est le niveau de protection du parafoudre;

$k_s$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_s = 1,1$ .

#### – Valves protégées par VBO:

La tension d'essai présumée  $U_{tsv2}$  est déterminée de la manière suivante:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{VBO} \quad (\text{formes d'ondes 1 et 2}) \quad (11)$$

où

$U_{VBO}$  est le niveau de tension maximal de protection VBO avec les niveaux de thyristors redondants opérationnels;

$k_s$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_s = 1,1$ .

Les limites supérieure et inférieure du seuil de fonctionnement de la protection VBO, les niveaux de thyristors redondants étant opérationnels, doivent être confirmées par le fabricant, et un contrôle doit être effectué pour s'assurer que la tension observée à l'amorçage s'inscrit entre ces deux limites.

L'essai doit être recommencé avec l'équipement électronique de la valve initialement hors tension.

NOTE Cet essai additionnel n'est pas applicable pour les conceptions de valve à thyristors où l'alimentation des circuits d'amorçage est indépendante du circuit de puissance principal.

#### c) Essai 3

Cet essai est destiné à vérifier l'isolement de la valve lorsque ni des parafoudres ni des VBO ne sont utilisés.

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{formes d'ondes 1 et 2}) \quad (12)$$

où

$U_{cms}$  est la tension de choc de manœuvre présumée, selon la CEI 60071, ou tel que déterminé par les études de coordination de l'isolement;

$k_s$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_s = 1,3 \text{ } 1,15$ .

La valve doit supporter la tension d'essai sans commutation ou rupture de l'isolement.

#### 5.3.3.3 Procédures d'essai

Pour chacun de ces essais, trois applications de tension de choc de manœuvre de chaque polarité doivent être effectuées entre les bornes de la valve, l'une des bornes étant mise à la terre.

Au lieu d'inverser la polarité du générateur de surtension, il est admis d'effectuer l'essai en inversant les bornes de la valve avec le générateur dans la même polarité.

## 5.4 Essais opérationnels

### 5.4.1 Essai d'amorçage et d'extinction périodiques

#### 5.4.1.1 Objectifs

Le principal objectif de cet essai est de démontrer la capacité de commutation de la valve à des tensions et des courants élevés, pendant des opérations de blocage et de déblocage périodiques. Cet essai vérifie également le fonctionnement correct du circuit de diviseur/amortisseur des potentiels, prévu pour assurer une distribution uniforme de la tension.

Si la conception de la valve permet un fonctionnement en continu de l'allumage de protection individuel (tel que VBO), cet essai doit être utilisé pour vérifier le fonctionnement fiable du circuit d'amorçage de protection proprement dit et du circuit d'amortissement au niveau de thyristor concerné.

#### 5.4.1.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

Il convient de démontrer la capacité de la valve à supporter la combinaison des contraintes de tension et de courant résultant de surtensions temporaires. Par conséquent, les conditions d'essai doivent correspondre – en fonction du temps – aux surtensions du système les plus défavorables spécifiées (cycle de charge) pour lesquelles le SVC doit rester en service, en tenant compte des caractéristiques de contrôle-commande et de protection de l'installation. On doit, notamment, démontrer que la valve peut bloquer les tensions les plus élevées (y compris les dépassements survenant lors du blocage des thyristors) combinées aux températures maximales de jonction du thyristor données par le cycle de charge.

La valve ou les sections de valve doivent être soumises à des formes d'ondes de courant et de tension aussi proches que possible de celles que subit la valve pendant l'amorçage et l'extinction, pour les conditions de service les plus critiques spécifiées ci-dessous. L'intervalle de temps le plus intéressant pour l'amorçage sont les premières 10 à 20  $\mu\text{s}$  qui suivent l'amorçage tandis que, pour l'extinction, l'intervalle le plus intéressant s'inscrit entre 0,2 ms avant et 1 ms après la valeur de courant nulle au blocage du thyristor.

Les conditions suivantes ne doivent, notamment, pas être moins sévères que les conditions de service:

- amplitudes de tension au blocage et au déblocage;
- $di/dt$  au déblocage et au moins pendant 0,2 ms avant la valeur de courant nulle;
- température de jonction du thyristor.

Les facteurs ci-dessous doivent aussi être pris en compte:

- représentation de la capacité parasite entre bornes de la valve;
- amplitude et durée suffisantes du courant de charge pour réaliser une pleine conduction de la jonction du thyristor.

#### 5.4.1.3 Procédures d'essai

Les essais doivent être effectués en utilisant les circuits d'essai appropriés, fournissant les contraintes lors du blocage et du déblocage équivalentes aux conditions de service applicables, telles qu'une source à fréquence industrielle alimentant une bobine d'inductance reliée en série avec la section de valve, ou un circuit d'essai synthétique approprié.

Tous les sous-systèmes auxiliaires qui peuvent influencer le comportement de la valve dans les conditions de service spécifiées ci-dessous (par exemple l'amorçage forcé) doivent être en fonctionnement.

Dans l'idéal, l'essai serait effectué en reproduisant la tension de source en fonction du temps spécifiée. Pour des raisons pratiques, il est admis d'adopter une procédure d'essai modifiée de la manière qui suit:

- a) créer des conditions maximales en régime établi pour la tension et le courant et les maintenir jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit atteint;
- b) augmenter la tension de source de manière à atteindre la valeur la plus élevée en fonction de la caractéristique de surcharge ou la valeur la plus élevée pour laquelle le pilotage de l'angle d'amorçage est garanti. Un facteur de sécurité d'essai de 1,05 doit être appliqué;
- c) maintenir l'angle d'amorçage constant au voisinage de 90°, jusqu'à ce que le thyristor ait atteint la température maximale donnée par le cycle de surtension temporaire spécifié;
- d) revenir aux conditions de service en régime établi.

Les dépassements survenant lors du blocage des thyristors, correspondant à la tension de rétablissement d'échelon maximale, doivent être mesurés et vérifiés pour s'assurer qu'ils sont inférieurs à la valeur utilisée pour la conception de la valve. Si la conception de la valve permet un fonctionnement continu de l'amorçage de protection VBO des niveaux de thyristors individuels, cette caractéristique doit également être soumise aux essais dans des conditions de régime établi en désactivant le signal de gâchette vers un thyristor donné, pendant une période suffisamment longue pour obtenir l'équilibre thermique des composants soumis aux contraintes.

NOTE Le cycle de surcharge temporaire pour une valve TSR sera une surcharge de courant sans tension. Afin d'atteindre les objectifs de l'essai, il convient que le fonctionnement en régime établi qui suit immédiatement la surcharge soit un état bloqué. Cela démontrera la capacité des thyristors surchauffés à supporter la tension de blocage.

## 5.4.2 Essai à tension alternative minimale

### 5.4.2.1 Objectifs

L'objet de cet essai est de vérifier le fonctionnement correct du système d'allumage dans la valve TCR, à la tension alternative minimale spécifiée et dans les conditions de service spécifiées.

### 5.4.2.2 Procédures d'essai, valeurs et formes d'ondes

La procédure d'essai doit être la suivante:

- a) appliquer la sous-tension temporaire minimale pour laquelle la TCR doit rester contrôlable, et la maintenir pendant une durée au moins égale à deux fois la durée spécifiée de la sous-tension temporaire;
- b) varier l'angle de commande  $\alpha$  entre  $\alpha_{\min}$  et  $\alpha_{\max}$ ;
- c) répéter le point b) ci-dessus en réduisant (en continu ou par échelons) la tension jusqu'à zéro (ou jusqu'au niveau d'intervention de la protection), afin de démontrer que cet état n'est pas préjudiciable à la valve.

Un facteur de sécurité d'essai de 0,95 doit être appliqué.

NOTE En fonction de la conception de la valve, il peut être nécessaire de revenir à la valeur minimale en régime établi de la tension alternative après chaque échelon de sous-tension, afin de recharger les sources d'alimentation des gâchettes.

## 5.4.3 Essai d'échauffement

### 5.4.3.1 Objectifs

Le principal objectif de cet essai est de démontrer que l'élévation de température des composants thermogènes les plus critiques reste dans les limites spécifiées, de vérifier qu'aucun composant ou matériau n'est soumis à des températures excessives dans diverses

conditions de service en régime établi, et de démontrer que le refroidissement prévu est approprié.

#### 5.4.3.2 Procédures d'essai

La valve doit être soumise à des tensions et des courants qui entraînent des pertes de 5 % supérieures à celles qui ont lieu en service, dans des conditions de fonctionnement spécifiées, pour les conditions de refroidissement les plus contraignantes. L'essai doit être poursuivi pendant 30 min après avoir atteint l'équilibre thermique.

Plusieurs essais peuvent être requis afin de déterminer l'échauffement de certains composants dont les contraintes thermiques maximales peuvent apparaître dans différentes conditions de fonctionnement.

Dans le cas où la capacité de conduction du courant des connexions (jeux de barres) entre les thyristors montés en antiparallèle constitue un problème, l'essai doit être recommencé avec un niveau de thyristor court-circuité, par exemple en remplaçant un thyristor par une pièce métallique.

NOTE Lorsque la température de la partie critique des composants thermogènes ne peut, dans la pratique, être déterminée par des mesures, par exemple la température de jonction des thyristors ou la température des éléments des résistances du circuit d'amortissement, il est admis d'effectuer une mesure en un point permettant d'estimer cette température.

## 6 Essais de type des valves TSC

### 6.1 Essais diélectriques entre bornes de valve et terre

#### 6.1.1 Généralités

Pour ces essais, chaque valve à thyristors doit être court-circuitée entre ses bornes ou à travers ses niveaux de thyristors individuels.

Pour des valves appartenant à une unité de valve multiple (MVU), toutes les valves dans la même structure doivent être court-circuitées et reliées entre elles. La tension d'essai doit être appliquée entre toutes les valves et la terre.

Voir 4.4.1.1 pour d'autres exigences détaillées concernant l'objet d'essai.

#### 6.1.2 Essai en courant alternatif – en courant continu

##### 6.1.2.1 Objectifs

Voir 4.2.2.1.

##### 6.1.2.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

##### a) Tension d'essai $U_{ts1}$ , 1 min

$U_{ts1}$  a une forme d'onde sinusoïdale, superposée à une composante continue.  $U_{ts1}$  doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$U_{ts1} = U_{tac1} + U_{tdc1} \quad (13)$$

$$U_{tac1} = k_{s1} \times k_d \times U_{ac1} \times \sin(2\pi ft) \quad (14)$$

$$U_{tdc1} = k_{s1} \times k_d \times U_{dc1} \quad (15)$$

où

$U_{dcm1}$  est la tension continue maximale résiduelle dans la batterie de condensateurs, faisant suite à un blocage de la valve résultant d'une perturbation du système, après que les dispositifs de décharge rapides tel que les parafoudres (constante de temps de déclin inférieure à 100 ms) ont cessé d'être conducteur;

$U_{ac1}$  est la valeur crête de la surtension maximale de longue durée prévue (sans prendre en compte la composante continue) qui peut apparaître entre toute borne de la valve et la terre;

$k_{s1}$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{s1} = 1,3$ ;

$k_d$  est le facteur de correction de la densité de l'air sur le site (voir 4.4.1.2);

$f$  est la fréquence d'essai (50 Hz ou 60 Hz en fonction des installations d'essai).

#### b) Tension d'essai $U_{ts2}$ , 10 min

$U_{ts2}$  a une forme d'onde sinusoïdale (voir 4.2.2).  $U_{ts2}$  doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$U_{ts2} = k_{s2} \times U_{ac2} \times \sin(2\pi ft) \quad (16)$$

où

$U_{ac2}$  est la valeur crête de la tension maximale de service en régime permanent, pouvant apparaître entre toute borne de la valve et la terre;

$k_{s2}$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{s2} = 1,15$ ;

$f$  est la fréquence d'essai (50 Hz ou 60 Hz en fonction des installations d'essai).

#### 6.1.2.3 Procédures d'essai

L'essai consiste à appliquer les tensions d'essai spécifiées  $U_{ts1}$  et  $U_{ts2}$  pendant les durées spécifiées entre les deux bornes de la valve interconnectées et la terre.

a) Augmenter la tension de 50 % à 100 % de  $U_{ts1}$  en environ 10 s.

b) Maintenir  $U_{ts1}$  pendant 1 min.

c) Réduire la tension à  $U_{ts2}$ .

d) Maintenir  $U_{ts2}$  pendant 10 min, enregistrer le niveau des décharges partielles, puis réduire la tension à zéro.

e) La valeur crête des décharges partielles périodiques enregistrée pendant la dernière minute de l'étape d) doit être inférieure à 200 pC, à condition que les composants qui sont sensibles aux décharges partielles dans la valve aient été soumis à des essais de manière séparée, ou alors, 50 pC dans le cas contraire.

f) Les tensions d'apparition et d'extinction doivent être mesurées selon la CEI 60270 pour les essais c.a.

#### 6.1.2.4 Essais de remplacement

L'essai de courant alternatif-courant continu combinés peut être remplacé par un essai en courant alternatif et un essai en courant continu réalisés séparément.

##### a) Essai en courant alternatif



L'essai consiste à appliquer les tensions d'essai spécifiées  $U_{t1(ac)}$  et  $U_{t2(ac)}$  pendant la durée spécifiée entre les deux bornes de la valve interconnectées et la terre.  $U_{t1(ac)}$  et  $U_{t2(ac)}$  ont des formes d'ondes sinusoïdales, à une fréquence de 50 Hz ou 60 Hz, en fonction des moyens d'essai.

$$U_{t1(ac)} = k_{s1} \times k_d \times (U_{ac1} + U_{dcm1}) / \sqrt{2} \quad (17)$$

$$U_{t2(ac)} = k_{s2} \times U_{ac2} / \sqrt{2} \quad (18)$$

Voir 6.1.2.2 pour les définitions.

- 1) Augmenter la tension de 50 % à 100 % de  $U_{t1(ac)}$  en environ 10 s.
- 2) Maintenir  $U_{t1(ac)}$  pendant 1 min.
- 3) Réduire la tension à  $U_{t2(ac)}$ .
- 4) Maintenir  $U_{t2(ac)}$  pendant 10 min, enregistrer le niveau des décharges partielles, puis réduire la tension à zéro.
- 5) La valeur crête des décharges partielles périodiques enregistrée pendant la dernière minute de l'étape d) doit être inférieure à 200 pC, à condition que les composants qui sont sensibles aux décharges partielles dans la valve aient été soumis à des essais de manière séparée, ou alors, 50 pC dans le cas contraire.
- 6) Les tensions d'apparition et d'extinction doivent être mesurées conformément à la CEI 60270.

## b) Essai en courant continu

L'essai consiste à appliquer la tension d'essai en courant continu spécifiée  $U_{t1(dc)}$  pendant la durée spécifiée entre les deux bornes de la valve interconnectées et la terre.

$$U_{t1(dc)} = k_{s1} \times k_d \sqrt{\left(\frac{U_{ac1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + U_{dcm1}^2} \quad (19)$$

Voir 6.1.2.2 pour les définitions.

L'essai doit être recommencé pour les deux polarités de la composante continue.

- 1) Augmenter la tension de 50 % à 100 % de  $U_{t1(dc)}$  en environ 10 s.
- 2) Maintenir  $U_{t1(dc)}$  pendant 1 min.
- 3) Réduire la tension à zéro.

## 6.1.3 Essai de tension de choc de foudre

### 6.1.3.1 Objectifs

Voir 4.2.2.1.

### 6.1.3.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

Une forme d'onde normalisée de 1,2/50  $\mu$ s, conformément à la CEI 60060, doit être utilisée.

La valeur crête de la tension d'essai est la tension de tenue aux chocs de foudre normalisée selon la CEI 60071-1, Tableau 2 ou 3.

### 6.1.3.3 Procédures d'essai

L'essai doit comprendre trois applications de tension de choc de foudre de polarité positive et trois applications de tension de choc de foudre de polarité négative entre la terre et les deux bornes de la valve reliées ensemble.

## 6.2 Essais diélectriques entre valves (pour MVU uniquement)

### 6.2.1 Généralités

Pour ces essais, chaque valve à thyristors doit être court-circuitée entre ses bornes ou à travers ses niveaux de thyristors individuels.

Les essais doivent être recommencés pour vérifier l'isolement entre toutes les paires de valves placées dans la même structure, à moins que la disposition physique de la MVU ne les rende inutiles.

Voir 4.4.1.1 pour d'autres exigences détaillées concernant l'objet d'essai.

### 6.2.2 Essai en courant alternatif – en courant continu

#### 6.2.2.1 Objectifs

Voir 4.2.2.1.

#### 6.2.2.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

##### a) Tension d'essai $U_{tvv1}$ , 1 min

$U_{tvv1}$  a une forme d'onde sinusoïdale superposée à une composante continue.  $U_{tvv1}$  doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$U_{tvv1} = U_{tac1} + U_{tdc1} \quad (20)$$

$$U_{tac1} = k_{s1} \times k_d \times U_{ac1} \times \sin(2\pi f t) \quad (21)$$

$$U_{tdc1} = k_{s1} \times k_d \times U_{dcm1} \times k_{dc} \quad (22)$$

où

$U_{dcm1}$  est la tension continue maximale résiduelle dans la batterie de condensateurs, faisant suite à un blocage de la valve résultant d'une perturbation du système, après que les dispositifs de décharge rapides tel que les parafoudres (constante de temps de déclin inférieure à 100 ms) ont cessé d'être conducteur;

$U_{ac1}$  est la valeur crête de la surtension maximale de longue durée prévue (à l'exception de la composante continue) qui peut apparaître entre des bornes des valves adjacentes;

$k_{s1}$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{s1} = 1,3$ ;

$k_d$  est le facteur de correction de la densité de l'air sur le site (voir 4.4.1.2);

$k_{dc} = 2$ . Une valeur de remplacement, par exemple 1, peut être utilisée si le fournisseur peut démontrer de manière satisfaisante pour l'acheteur que ce chiffre est applicable à la conception de la MVU;

$f$  est la fréquence d'essai (50 Hz ou 60 Hz en fonction des moyens d'essai).

##### b) Tension d'essai $U_{tvv2}$ , 10 min

$U_{tvv2}$  a une forme d'onde sinusoïdale (voir 4.2.2).  $U_{tvv2}$  doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$U_{tvv2} = k_{s2} \times U_{ac2} \times \sin(2\pi ft) \quad (23)$$

où

$U_{ac2}$  est la valeur crête de la tension maximale de service en régime permanent, pouvant apparaître entre une borne d'une valve adjacente et la terre;

$k_{s2}$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{s2} = 1,15$ ;

$f$  est la fréquence d'essai (50 Hz ou 60 Hz en fonction des installations d'essai).

### 6.2.2.3 Procédures d'essai

L'essai consiste à appliquer les tensions d'essai spécifiées  $U_{tvv1}$  et  $U_{tvv2}$  pendant la durée spécifiée entre les valves. La tension d'essai  $U_{tac1}$  ou  $U_{tac2}$  peut être appliquée entre les bornes d'une valve (court-circuitées ensemble) et la terre, et la tension continue  $U_{tdc1}$  ou  $U_{tdc2}$  entre les bornes de toutes les valves restantes (toutes étant court-circuitées ensemble) et la terre. D'autres dispositifs de combinaison des tensions alternative et continue sont également possibles.

- Augmenter la tension de 50 % à 100 % de  $U_{ts1}$  en environ 10 s.
- Maintenir  $U_{tvv1}$  pendant 1 min.
- Réduire la tension à  $U_{tvv2}$ .
- Maintenir  $U_{tvv2}$  pendant 10 min, enregistrer le niveau des décharges partielles, puis réduire la tension à zéro.
- La valeur crête des décharges partielles périodiques enregistrée pendant la dernière minute de l'étape d) doit être inférieure à 200 pC, à condition que les composants qui sont sensibles aux décharges partielles dans la MVU aient été soumis à des essais de manière séparée, ou alors, 50 pC dans le cas contraire.
- Les tensions d'apparition et d'extinction doivent être mesurées selon la CEI 60270, pour les essais c.a.

### 6.2.2.4 Essais de remplacement

L'essai de courant alternatif-courant continu combinés peut être remplacé par un essai en courant alternatif et un essai en courant continu réalisés séparément.

#### a) Essai en courant alternatif

L'essai consiste à appliquer les tensions d'essai spécifiées  $U_{t1(ac)}$  et  $U_{t2(ac)}$  pendant la durée spécifiée entre les deux valves.  $U_{t1(ac)}$  et  $U_{t2(ac)}$  ont des formes d'ondes sinusoïdales, à une fréquence de 50 Hz ou 60 Hz, en fonction des moyens d'essai.

$$U_{t1(ac)} = k_{s1} \times k_d \times (U_{ac1} + k_{dc} \times U_{dc1}) / \sqrt{2} \quad (24)$$

$$U_{t2(ac)} = k_{s2} \times U_{ac2} / \sqrt{2} \quad (25)$$

Voir 6.2.2.2 pour les définitions.

- Augmenter la tension de 50 % à 100 % de  $U_{t1(ac)}$  en environ 10 s.
- Maintenir  $U_{t1(ac)}$  pendant 1 min.
- Réduire la tension à  $U_{t2(ac)}$ .

- 4) Maintenir  $U_{t2(ac)}$  pendant 10 min, enregistrer le niveau des décharges partielles, puis réduire la tension à zéro.
- 5) La valeur crête des décharges partielles périodiques enregistrée pendant la dernière minute de l'étape d) doit être inférieure à 200 pC, à condition que les composants qui sont sensibles aux décharges partielles dans la MVU aient été soumis à des essais de manière séparée, ou alors, 50 pC dans le cas contraire.
- 6) Les tensions d'apparition et d'extinction doivent être mesurées conformément à la CEI 60270.

## b) Essai en courant continu

L'essai consiste à appliquer la tension d'essai en courant continu spécifiée  $U_{t1(dc)}$  pendant la durée spécifiée entre les deux bornes de la valve interconnectées et la terre.

$$U_{t1(dc)} = k_{s1} \times k_d \sqrt{\left(\frac{U_{ac1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + (k_{dc} \times U_{dcm1})^2} \quad (26)$$

Voir 6.2.2.2 pour les définitions.

L'essai doit être recommencé pour les deux polarités de la composante continue.

- 1) Augmenter la tension de 50 % à 100 % de  $U_{t1(dc)}$  en environ 10 s.
- 2) Maintenir  $U_{t1(dc)}$  pendant 1 min.
- 3) Réduire la tension à zéro.

## 6.2.3 Essai de tension de choc de foudre

### 6.2.3.1 Objectifs

Voir 4.2.2.1.

### 6.2.3.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

Une forme d'onde normalisée de 1,2/50  $\mu$ s, conformément à la CEI 60060, doit être utilisée.

La valeur crête de la tension d'essai est la tension de tenue aux chocs de foudre normalisée selon la CEI 60071-1, Tableau 2 ou 3.

### 6.2.3.3 Procédures d'essai

L'essai doit comprendre trois applications de tension de choc de foudre de polarité positive et trois applications de tension de choc de foudre de polarité négative entre les valves.

## 6.3 Essais diélectriques entre bornes de valve

### 6.3.1 Généralités

Pour des valves appartenant à une unité de valve multiple, il est nécessaire d'effectuer ces essais uniquement sur une valve. Chaque autre valve dans la même structure doit être court-circuitée aux bornes de la valve ou à travers les niveaux de thyristors individuels, et reliée à la terre.

Voir 4.4.1.1 pour d'autres exigences détaillées concernant l'objet d'essai.

### 6.3.2 Essai en courant alternatif – en courant continu

#### 6.3.2.1 Objectifs

Voir 4.2.2.2.

#### 6.3.2.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

##### a) Tension d'essai $U_{tv1}$ , 1 min

$U_{tv1}$  a une forme d'onde sinusoïdale, superposée à une composante continue.  $U_{tv1}$  doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$U_{tv1} = U_{tac1} + U_{tdc1} \quad (27)$$

$$U_{tac1} = k_{s1} \times U_{ac1} \times \sin(2\pi ft) \quad (28)$$

$$U_{tdc1} = k_{s1} \times U_{dcm1} \quad (29)$$

où

$U_{dcm1}$  est la tension continue maximale résiduelle dans la batterie de condensateurs, faisant suite à un blocage de la valve résultant d'une perturbation du système, après que les dispositifs de décharge rapides tel que les parafoudres (constante de temps de déclin inférieure à 100 ms) ont cessé d'être conducteurs;

$U_{ac1}$  est la valeur crête de la surtension de longue durée (à l'exception de la composante continue) qui peut apparaître dans la valve;

$k_{s1}$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{s1} = 1,1$  si la tension est limitée par un parafoudre;

$k_{s1} = 1,30$  ~~1,30~~ **1,15** si aucun parafoudre n'est utilisé;

$f$  est la fréquence d'essai (50 Hz ou 60 Hz en fonction des moyens d'essai).

##### b) Tension d'essai $U_{tv2}$ , 10 min

$U_{tv2}$  a une forme d'onde sinusoïdale (voir 4.2.1).  $U_{tv2}$  doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$U_{tv2} = k_{s2} \times U_{ac2} \times \sin(2\pi ft) \quad (30)$$

où

$U_{ac2}$  est la valeur crête de la tension maximale de service en régime permanent, pouvant apparaître entre les bornes de la valve;

$k_{s2}$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_{s2} = 1,15$ ;

$f$  est la fréquence d'essai (50 Hz ou 60 Hz en fonction des moyens d'essai).

#### 6.3.2.3 Procédures d'essai

L'essai consiste à appliquer les tensions d'essai spécifiées  $U_{tv1}$  et  $U_{tv2}$  pendant la durée spécifiée entre les deux bornes de la valve. L'une des bornes de la valve peut être mise à la terre.

- a) Augmenter la tension de 50 % à 100 % de  $U_{tv1}$  en environ 10 s.
- b) Maintenir  $U_{tv1}$  pendant 1 min.
- c) Réduire la tension à  $U_{tv2}$ .
- d) Maintenir  $U_{tv2}$  pendant 10 min, enregistrer le niveau des décharges partielles, puis réduire la tension à zéro.
- e) La valeur crête des décharges partielles périodiques enregistrée pendant la dernière minute de l'étape d) doit être inférieure à 200 pC, à condition que les composants qui sont sensibles aux décharges partielles dans la valve aient été soumis à des essais de manière séparée, ou alors, 50 pC dans le cas contraire.
- f) Les tensions d'apparition et d'extinction doivent être mesurées selon la CEI 60270, pour les essais c.a.

#### 6.3.2.4 Essais de remplacement

L'essai de courant alternatif-courant continu combinés peut être remplacé par un essai en courant alternatif et un essai en courant continu réalisés séparément.

##### a) Essai en courant alternatif

L'essai consiste à appliquer les tensions d'essai spécifiées  $U_{t1(ac)}$  et  $U_{t2(ac)}$  pendant la durée spécifiée entre les deux bornes de la valve.  $U_{t1(ac)}$  et  $U_{t2(ac)}$  ont des formes d'ondes sinusoïdales, à une fréquence de 50 Hz ou 60 Hz, en fonction des moyens d'essai.

$$U_{t1(ac)} = k_{s1} \times (U_{ac1} + U_{dcm1}) / \sqrt{2} \quad (31)$$

$$U_{t2(ac)} = k_{s2} \times U_{ac2} / \sqrt{2} \quad (32)$$

Voir 6.3.2.2 pour les définitions.

- 1) Augmenter la tension de 50 % à 100 % de  $U_{t1(ac)}$  en environ 10 s.
- 2) Maintenir  $U_{t1(ac)}$  pendant 1 min.
- 3) Réduire la tension à  $U_{t2(ac)}$ .
- 4) Maintenir  $U_{t2(ac)}$  pendant 10 min, enregistrer le niveau des décharges partielles, puis réduire la tension à zéro.
- 5) La valeur crête des décharges partielles périodiques enregistrée pendant la dernière minute de l'étape d) doit être inférieure à 200 pC, à condition que les composants qui sont sensibles aux décharges partielles dans la valve aient été soumis à des essais de manière séparée, ou alors, 50 pC dans le cas contraire.
- 6) Les tensions d'apparition et d'extinction doivent être mesurées conformément à la CEI 60270.

NOTE L'essai prescrit peut appliquer sur certains composants de la valve des surcontraintes thermiques irréalistes. Dans ce cas, et sous réserve de l'accord entre l'acheteur et le fournisseur, l'essai de tenue en tension alternative d'1 min peut être remplacé par plusieurs essais plus courts dont la durée minimale est déterminée sur la base de la durée maximale possible de la condition de surtension spécifiée multipliée par 2, mais d'une durée totale d'au moins 1 min.

##### b) Essai en courant continu

L'essai consiste à appliquer la tension d'essai en courant continu spécifiée  $U_{t1(dc)}$  pendant la durée spécifiée entre les deux bornes de la valve interconnectées et la terre.

$$U_{t1(dc)} = k_{s1} \sqrt{\left(\frac{U_{ac1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + U_{dc1}^2} \quad (33)$$

Voir 6.3.2.2 pour les définitions.

L'essai doit être recommencé pour les deux polarités de la composante continue.

- 1) Augmenter la tension de 50 % à 100 % de  $U_{t1(dc)}$  en environ 10 s.
- 2) Maintenir  $U_{t1(dc)}$  pendant 1 min.
- 3) Réduire la tension à zéro.

### 6.3.3 Essai de tension de choc de manœuvre

#### 6.3.3.1 Objectifs

Voir 4.2.2.2.

Le principal objectif de cet essai est de vérifier la tenue de la valve, y compris le non-fonctionnement des éventuels circuits d'amorçage de protection VBO. Cet essai contrôle la coordination correcte entre le niveau de protection du parafoudre et le seuil de fonctionnement de protection de la valve. Un autre objectif est de vérifier l'immunité de la valve aux perturbations électromagnétiques (voir l'Article 7).

#### 6.3.3.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

- Forme d'onde 1

Utiliser une forme d'onde de 20/200  $\mu$ s qui s'approche, autant que possible, d'une forme d'onde d'extinction type, ou autre forme d'onde approchée, si elle est acceptable du point de vue des études système.

- Forme d'onde 2

Une forme d'onde normalisée de 250/2 500  $\mu$ s doit être utilisée.

#### a) Valves protégées par des parafoudres

La tension d'essai doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$U_{tsv} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{formes d'ondes 1 et 2}) \quad (34)$$

où

$U_{cms}$  est le niveau de protection du parafoudre pour les chocs de manœuvre;

$k_s$  est un facteur de sécurité;

$k_s = 1,1$ .

#### b) Valves non protégées par des parafoudres

La tension d'essai doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$U_{tsv} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{waveshapes 1 and 2}) \quad (35)$$

où

$U_{cms}$  est la tension de choc de manœuvre présumée, selon la CEI 60071, ou tel que déterminé par des études de coordination de l'isolement;

$k_s$  est un facteur de sécurité;

$k_s = 1,3$  1,15.

La valve doit supporter l'essai sans commutation ou rupture de l'isolement.

### 6.3.3.3 Procédures d'essai

Il faut effectuer trois applications de chaque polarité d'une tension de choc de manœuvre de l'amplitude et de la forme d'onde spécifiées, entre les bornes de la valve, dont l'une peut être mise à la terre.

Au lieu d'inverser la polarité du générateur de surtension, il est admis d'effectuer l'essai en inversant les bornes de la valve avec le générateur dans la même polarité.

NOTE Il est recommandé que l'éventuel système d'amorçage de protection ne fonctionne pas pendant l'essai.

## 6.4 Essais opérationnels

### 6.4.1 Essais de surintensité

#### 6.4.1.1 Généralités

Le principal objectif de ces essais est de démontrer la conception correcte de la valve dans des conditions de surintensité dues à l'amorçage de la valve par instants, en présence d'une tension non nulle entre ses bornes.

Les essais de surintensité peuvent être effectués en utilisant un circuit oscillant, constitué d'une bobine d'inductance et d'un condensateur alimentés à partir d'une source d'énergie à fréquence fondamentale, ou par un circuit d'essai synthétique approprié.

#### 6.4.1.2 Surintensité avec blocage résultant

##### 6.4.1.2.1 Objectifs

L'objectif de cet essai est de démontrer que la conception de la valve est adaptée aux contraintes en tension à des températures élevées de jonction du thyristor, dues aux surintensités. Il est nécessaire de démontrer la tenue en tension directe et inverse réappliquée.

##### 6.4.1.2.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

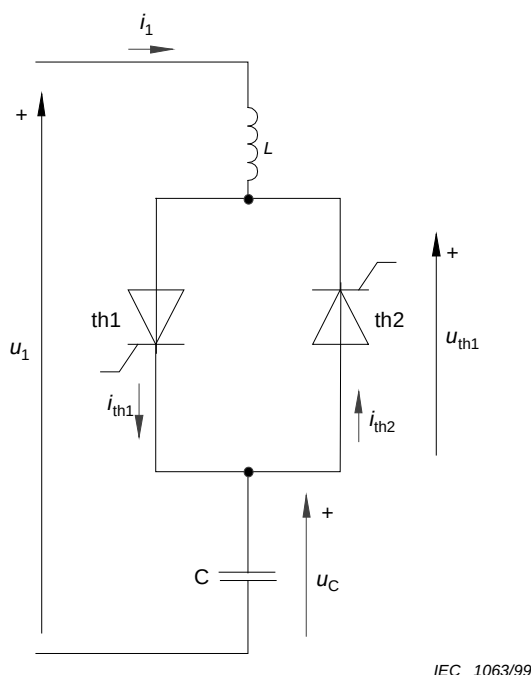
Les paramètres les plus importants à reproduire sont l'amplitude et la temporisation de la tension réappliquée (directe et inverse), ainsi que la température de thyristor correspondante. Une représentation convenable de  $di/dt$  et de la tension de rétablissement en échelon est également importante.

Le schéma du circuit d'une branche TSC est illustré à la Figure 1.

La forme d'onde du courant d'essai doit comprendre une ou deux impulsions ayant une valeur de courant de crête au moins égale à la valeur la plus élevée de la surintensité permettant un blocage de la valve. Le cas le plus défavorable de surintensité et de la tension réappliquée correspondante (valeur échelon et crête), en considérant l'instant d'amorçage et le nombre d'impulsions, doit être déterminé à partir d'études système en utilisant la séquence d'événements suivante:

- a) la valve doit être bloquée à la tension du système la plus élevée admise par les systèmes de contrôle-commande et de protection du SVC;
- b) la valve doit être amorcée avec la tension du système telle qu'indiquée ci-dessus, et les condensateurs étant chargés. Elle doit être amorcée peu de temps avant que la tension entre ses bornes ait atteint sa valeur maximale. Lorsqu'un système de protection est installé pour éviter l'amorçage à des niveaux de tension élevés, l'amorçage doit avoir lieu à la limite établie par cette protection. Cet amorçage de la valve doit déterminer la valeur crête de courant;





**Figure 1 – Branche TSC**

- c) la valve doit être bloquée au premier passage par zéro du courant, afin de définir la contrainte de tension inverse maximale de la valve (Figure 2). L'échelon de tension doit être défini directement après blocage de la valve, et il ne doit pas comprendre le dépassement de courant dû à l'extinction de la valve. La tension crête doit être définie comme étant la crête de tension la plus élevée apparaissant durant la période à la fréquence fondamentale qui s'ensuit;
- d) la valve doit être bloquée au second passage par zéro du courant, afin de définir la contrainte de tension directe maximale de la valve (Figure 3). L'échelon de tension doit être défini directement après le blocage de la valve, et il ne doit pas prendre en compte le dépassement de courant dû à l'extinction de la valve. La tension crête doit être définie comme étant la crête de tension la plus élevée apparaissant durant la période à la fréquence fondamentale qui s'ensuit.

Il convient que la fréquence du courant d'essai s'approche autant que possible de la fréquence de résonance du circuit TSC réel.

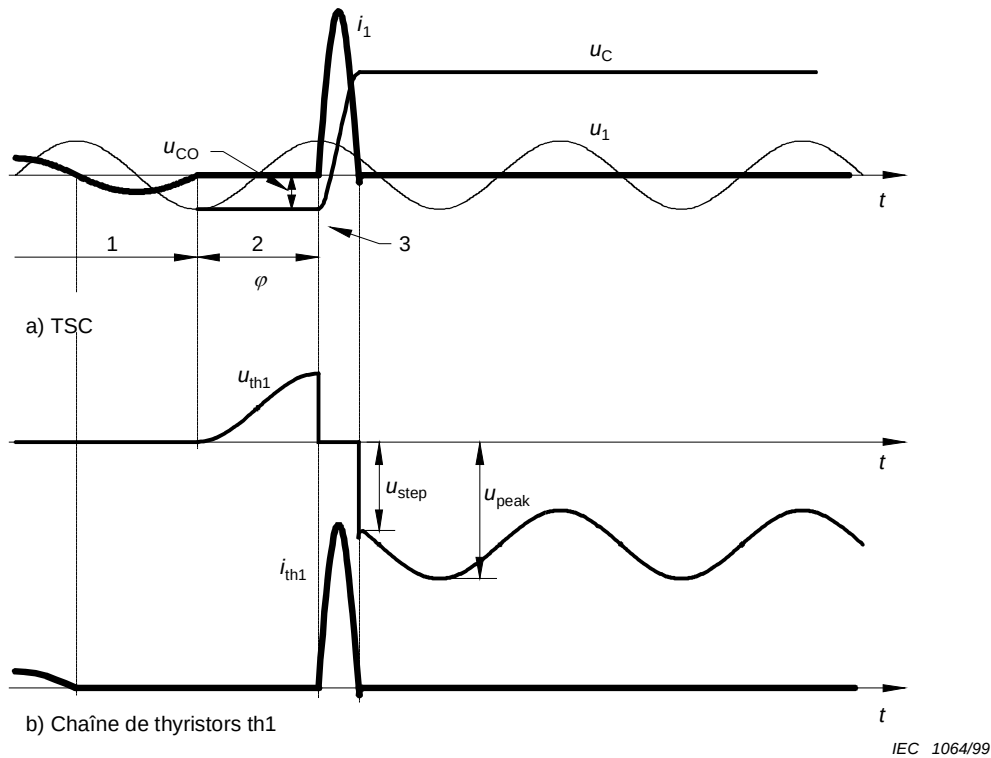
Si un parafoudre est utilisé pour limiter la tension de la valve, dans ce cas il est admis d'inclure dans le circuit d'essai un parafoudre spécial dont le niveau de protection est déterminé au prorata du nombre de niveaux de thyristors soumis à l'essai.

#### 6.4.1.2.3 Procédure d'essai

Il convient d'effectuer l'essai de façon que les deux sens de conduction des chaînes de thyristors soient couverts.

- a) Préchauffer la valve (ou section de valve) à un état qui représente la température maximale en régime établi.
- b) Soumettre la valve (ou section de valve) à la surintensité et à la tension réappliquée associée les plus défavorables, déterminées selon 6.4.1.2.2.

NOTE Il est admis que cet essai comprenne une ou deux boucles ou les deux à la fois, à condition que les objectifs de l'essai soient remplis.



#### Légende

- 1 Fonctionnement normal
- 2 Bloqué
- 3 Valve amorcée
- $u_{CO}$  Tension de condensateur C chargé
- $\varphi$  Angle de conduction de chaîne de thyristors th2

**Figure 2 – Surintensité à une boucle**

### 6.4.1.3 Surintensité sans blocage

#### 6.4.1.3.1 Objectifs

L'objectif de cet essai est de démontrer la conception correcte de la valve en termes d'échauffement et de forces électromagnétiques dues aux surintensités les plus contraignantes auxquelles la valve peut être soumise en service.

#### 6.4.1.3.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

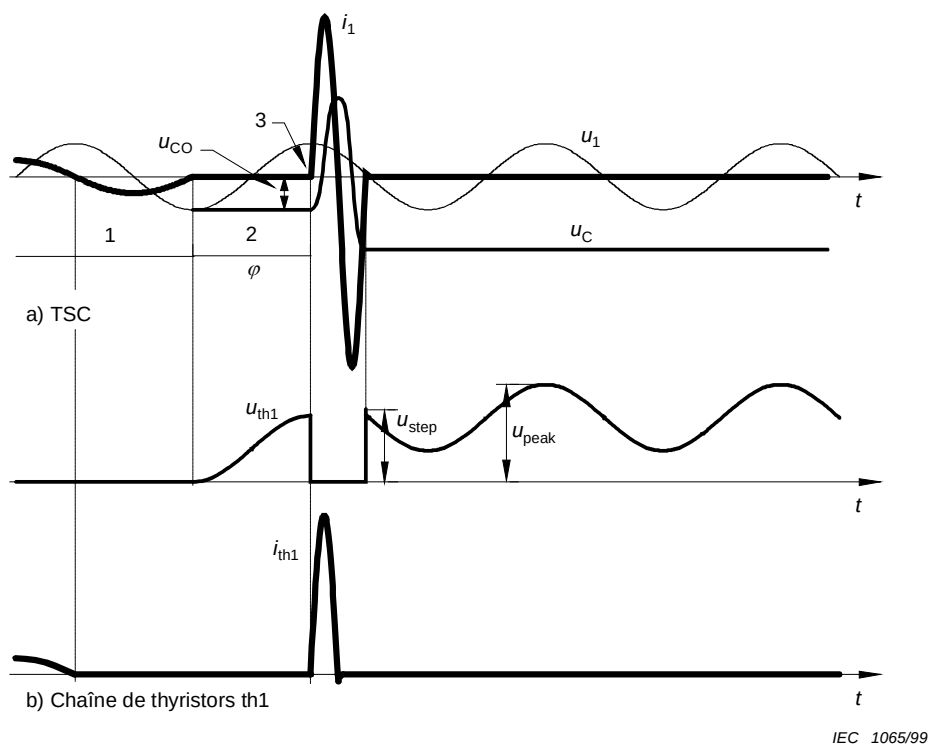
La forme d'onde du courant d'essai doit être une oscillation de courant sinusoïdale amortie ou une autre représentation appropriée qui donne une valeur crête du courant, un total  $I^2t$  et une valeur crête de la température de jonction des thyristors au moins égaux aux valeurs observables en service.

Il convient que la fréquence du courant d'essai s'approche autant que possible de la fréquence de résonance du circuit TSC réel.

#### 6.4.1.3.3 Procédure d'essai

- a) Préchauffer la valve (ou section de valve) à un état qui représente la température maximale en régime permanent.

b) Soumettre la valve (ou section de valve) à la surintensité.



#### Légende

- 1 Fonctionnement normal
- 2 Bloqué
- 3 Valve amorcée
- $u_{co}$  Tension de condensateur C chargé
- $\varphi$  Angle de conduction de chaîne de thyristors th2

**Figure 3 – Surintensité à deux boucles**

### 6.4.2 Essai de tension alternative minimale

#### 6.4.2.1 Objectifs

L'objet de cet essai est de vérifier le fonctionnement correct du système d'amorçage des thyristors dans la valve TSC à la tension alternative minimale spécifiée et dans les conditions de service spécifiées.

#### 6.4.2.2 Procédures d'essai, valeurs et formes d'ondes

La procédure d'essai doit être la suivante:

- a) appliquer la sous-tension temporaire minimale pour laquelle le TSC doit pouvoir être commandé, et maintenir la valve à l'état passant pendant une durée au moins égale à deux fois la durée spécifiée de la sous-tension temporaire;
- b) répéter le point a) ci-dessus en réduisant (en continu ou par étapes) la tension jusqu'à zéro (ou jusqu'au niveau d'intervention de la protection), afin de démontrer que cet état n'est pas préjudiciable à la valve.

NOTE En fonction de la conception de la valve, il peut être nécessaire de revenir à la valeur minimale en régime établi de la tension alternative, après chaque échelon de sous-tension, afin de recharger les sources d'alimentation des gâchettes.

Un facteur de sécurité d'essai de 0,95 doit être appliqué.

### **6.4.3 Essai d'échauffement**

#### **6.4.3.1 Objectifs**

Le principal objectif de cet essai est de démontrer que l'élévation de température des composants thermogènes les plus critiques reste dans les limites spécifiées, de vérifier qu'aucun composant ou matériau n'est soumis à des températures excessives dans diverses conditions de service en régime établi, et de démontrer que le refroidissement prévu est approprié.

#### **6.4.3.2 Procédures d'essai**

La valve doit être soumise à des tensions et des courants qui entraînent des pertes de 5 % supérieures à celles qui ont lieu en service, dans des conditions de fonctionnement spécifiées, pour les conditions de refroidissement les plus contraignantes. L'essai doit être poursuivi pendant 30 min après avoir atteint l'équilibre thermique.

Il est admis que plusieurs essais soient requis afin de déterminer l'échauffement de certains composants dont les charges thermiques maximales peuvent apparaître dans différentes conditions de fonctionnement.

Dans le cas où la capacité de conduction du courant des connexions (jeux de barres) entre les thyristors montés en antiparallèle constitue un problème, l'essai doit être recommencé avec un niveau de thyristor court-circuité, par exemple en remplaçant un thyristor par une pièce métallique.

NOTE Lorsque la température de la partie critique des composants thermogènes ne peut, dans la pratique, être déterminée par des mesures, par exemple la température de jonction des thyristors ou la température des éléments des résistances du circuit d'amortissement, il est admis d'effectuer une mesure en un point approprié permettant d'estimer cette température.

## **7 Essais de perturbations électromagnétiques**

### **7.1 Objectifs**

L'objectif de ces essais est de démontrer l'immunité de la valve aux perturbations électromagnétiques provoquées par des événements extérieurs ou par la commutation d'autres valves placées à proximité.

Les essais doivent démontrer qu'à la suite d'émissions électromagnétiques

- il n'y a pas de déclenchement parasite de thyristors;
- il n'y a pas de fausse indication de défauts de niveaux de thyristor ou de signaux erronés envoyés au système de contrôle-commande et de protection du SVC.

NOTE Pour la présente norme, les essais pour 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 signaux qui relie la valve à la terre. La démonstration de l'insensibilité aux perturbations électromagnétiques d'un équipement situé au potentiel de terre, et la caractérisation de la valve comme source de perturbation électromagnétique pour les autres équipements, n'entrent pas dans le domaine d'application de la présente norme.

## **7.2 Procédures d'essai**

### **7.2.1 Généralités**

L'insensibilité aux perturbations électromagnétiques est vérifiée en instrumentant la valve pendant les essais de tension de choc de manœuvre et les essais d'amorçage apériodiques. Dans le premier cas, la valve qui est soumise à la tension de choc de manœuvre est également surveillée en termes d'insensibilité aux perturbations électromagnétiques. Dans le second cas, une valve d'essai supplémentaire doit être placée à côté de la valve soumise à l'essai d'amorçage apériodique. Cet objet d'essai supplémentaire doit être instrumentée pour identifier les éventuelles perturbations électromagnétiques.

Les dispositions géométriques des valves d'essai doivent représenter les conditions de service.

### **7.2.2 Essai de tension de choc de manœuvre**

L'essai est réalisé dans le cadre des essais de type TCR/TSR (voir 5.3.3.1) et TSC (voir 6.3.2.1).

L'électronique de la valve soumise à l'essai doit être alimentée.

Les parties de l'électronique de base de la valve qui sont nécessaires à l'échange correct d'informations avec la valve d'essai doivent être incluses.

Les critères d'acceptation de l'essai sont l'absence de tout amorçage de thyristor parasite dans la valve ou une fausse indication de la valve vers le système de contrôle-commande et de protection. Les critères s'appliquent à la fois à la valve en essai et à la valve adjacente, si elle est utilisée.

### **7.2.3 Essai d'allumage non périodique**

L'essai est réalisé dans le cadre des essais facultatifs TCR/TSR (voir 9.3) et TSC (voir 10.2).

L'électronique de la valve soumise à l'essai doit être alimentée.

Les parties de l'électronique de base de la valve qui sont nécessaires à l'échange correct d'informations avec la valve d'essai doivent être incluses.

Une tension de fonctionnement à fréquence fondamentale (tension nominale de service) doit être appliquée entre les bornes de l'objet soumis à l'essai. Les essais doivent être réalisés à proximité de la crête de tension et exécutés pour les deux polarités de la tension.

**NOTE** Dans de nombreuses situations, il est possible de satisfaire aux objectifs de l'essai d'amorçage apériodique en réalisant d'autres essais, par exemple, pour la TCR, par l'essai de tension de choc de manœuvre avec amorçage par VBO et, pour le TSC, par les essais de surintensité.

Les critères d'acceptation de l'essai sont l'absence de tout amorçage de thyristor parasite dans la valve ou une fausse indication de la valve vers le système de contrôle-commande et de protection. Ces critères s'appliquent tant à l'objet soumis à l'essai qu'à la valve adjacente.

## **8 Essais de fabrication**

### **8.1 Généralités**

Les essais spécifiés définissent les exigences d'essai minimales. Le fournisseur doit remettre une description détaillée des procédures d'essai, destinée à satisfaire aux objectifs d'essai.

## 8.2 Contrôle visuel

Objectif de l'essai:

- a) vérifier que tous les matériaux et composants sont exempts de dommages et correctement installés;
- b) vérifier les données des composants installés;
- c) vérifier les distances d'isolement dans l'air et les lignes de fuite dans la valve.

## 8.3 Contrôle des connexions

Objectif de l'essai:

- a) vérifier que toutes les principales connexions conductrices ont été correctement réalisées;
- b) vérifier le couple de serrage des thyristors;
- c) vérifier le câblage point à point.

## 8.4 Contrôle du circuit diviseur/amortisseur des potentiels

Objectif de l'essai: vérifier les paramètres (résistance et capacité) du circuit diviseur/amortisseur des potentiels, et ainsi s'assurer que la tension sera correctement répartie entre les thyristors connectés en série.

## 8.5 Contrôle de la tenue en tension

Objectif de l'essai: vérifier que les niveaux de thyristors peuvent supporter la tension correspondant à la valeur maximale spécifiée pour la valve.

## 8.6 Contrôle des auxiliaires

Objectif de l'essai: vérifier que les auxiliaires (tels que les circuits de contrôle et de protection) à chaque niveau de thyristor ainsi que ceux qui sont communs à la valve complète (ou à la section de valve) fonctionnent correctement.

## 8.7 Contrôle de l'amorçage

Objectif de l'essai: vérifier que les thyristors dans chaque niveau de thyristor s'amorcent correctement en réponse aux signaux de gâchette.

## 8.8 Essai de pression du circuit de refroidissement

Objectif de l'essai:

- a) vérifier qu'il n'y a pas de fuite;
- b) vérifier que le débit est correct à la fois dans la valve dans son ensemble et dans tous les sous-circuits;
- c) vérifier la pression différentielle.

## 8.9 Essais de décharges partielles

Afin de démontrer que la fabrication est correcte, l'acheteur et le fournisseur doivent se mettre d'accord sur les composants et sous-ensembles qui sont critiques pour la conception, et des essais de décharges partielles appropriés doivent être réalisés.

## 9 Essais facultatifs sur valves TCR et TSR

### 9.1 Essai de surintensité

#### 9.1.1 Surintensité avec blocage résultant

##### 9.1.1.1 Objectifs

Cet essai vérifie la capacité de la valve à supporter des surintensités suivi d'un blocage de la valve avec une température des thyristors égale à la valeur maximale admise par le système de commande et de protection de la valve. Cet essai tient compte de la composante continue du courant qui se retrouve piégé lorsqu'il est mis fin à la surintensité par blocage à  $di/dt$  élevé.

NOTE Dans de nombreuses circonstances, les objectifs de cet essai peuvent être satisfaits par l'essai d'amorçage et d'extinction périodiques (voir 5.4.1), auquel cas il est admis d'omettre le présent essai.

##### 9.1.1.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

La valve doit être soumise à une tension réappliquée qui s'approche de la forme d'onde d'extinction observée en service. La tension réappliquée peut être produite soit par un générateur d'impulsion séparé, soit par le circuit d'essai proprement dit.

Forme d'onde 1: utiliser une forme d'onde de 20/200  $\mu s$  qui s'approche, autant que possible, d'une forme d'onde d'extinction type, ou une autre forme d'onde approchée, si elle est acceptable du point de vue des études système.

$$U_{tsv} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{forme d'onde 1}) \quad (36)$$

où

$U_{cms}$  est le niveau minimal de protection de la valve, défini par le parafoudre ou VBO, ou le niveau garanti de tenue de la valve lorsqu'aucune protection contre les surtensions n'est prévue;

$k_s$  est un facteur d'essai;

$k_s = 0,9$ .

##### 9.1.1.3 Procédures d'essai

- Etablir un régime permanent maximal en courant, et le maintenir jusqu'à atteindre l'équilibre thermique au niveau de la température de jonction des thyristors.
- Soumettre la valve à un courant d'essai convenable pour élever la température de jonction à la valeur maximale admise par le système de contrôle-commande et de protection de la valve.
- Bloquer la valve à une valeur  $di/dt$  représentative.
- Soumettre la valve à la tension inverse de dépassement d'extinction.

#### 9.1.2 Surintensité sans blocage

##### 9.1.2.1 Objectifs

On suppose que les conditions de défaut sont atteintes lorsque le courant de la valve dépasse les limites du dimensionnement. Cet essai vérifie la capacité de la valve à supporter des surintensités sans blocage, jusqu'au déclenchement du SVC.

##### 9.1.2.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

Le courant d'essai doit avoir une valeur crête et produire un échauffement correspondant au cas le plus défavorable de surtension, pendant les durées spécifiées associées, en soumettant

les deux sens de conduction aux essais. La durée de l'essai doit être déterminée en fonction du système de protection du SVC.

### 9.1.2.3 Procédures d'essai

Il est admis que le circuit d'essai utilise une source de courant à fréquence industrielle, l'objet soumis à l'essai étant monté en série avec une bobine d'inductance, ou un autre circuit de remplacement approprié. Il n'est pas nécessaire d'appliquer de tension à la valve à la fin de l'essai.

- a) Préchauffer la valve ou la section de valve de façon que les jonctions de thyristor atteignent la température maximale de fonctionnement en régime établi.
- b) Soumettre la valve à la forme d'onde de courant spécifiée.

## 9.2 Essai de tension positive transitoire pendant la période de recouvrement

### 9.2.1 Objectifs

Il doit être démontré que la valve ne sera pas endommagée en cas d'apparition d'une tension de choc de manœuvre positive à tout moment après extinction du courant.

NOTE Lorsqu'une protection externe de la valve est prévue pour permettre de supporter une telle situation, il convient que cette protection soit incluse dans l'essai.

### 9.2.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

Forme d'onde 1: utiliser une forme d'onde de 20/200  $\mu\text{s}$  qui s'approche, autant que possible, d'une forme d'onde d'extinction type, ou une autre forme d'onde approchée, si elle est acceptable du point de vue des études système.

$$U_{\text{tsv}} = k_s \times U_{\text{cms}} \quad (\text{forme d'onde 1}) \quad (37)$$

où

$U_{\text{cms}}$  est le niveau minimal de protection de la valve, défini par le parafoudre ou VBO, ou le niveau garanti de tenue de la valve lorsqu'aucune protection contre les surtensions n'est prévue;

$k_s$  est un facteur d'essai;

$k_s = 0,9$ .

La tension de choc, après extinction du courant, modifiera la polarité de la tension de la valve en une polarité qui alimente dans le sens passant les thyristors qui viennent de cesser d'être conducteurs.

Pour les essais effectués sur une section de valve, l'amplitude  $U_{\text{tsv}}$  doit être échelonnée proportionnellement, conformément à 4.4.3.2.

### 9.2.3 Procédures d'essai

- a) Alimenter la valve avec un courant approprié tel que la jonction du thyristor soit pleinement conductrice et que le  $di/dt$  lors du blocage soit correct.
- b) Bloquer la valve à la température maximale de jonction en régime établi.
- c) Soumettre la valve ou la section de valve aux tensions de choc présumées spécifiées ci-dessus.

Les tensions de choc doivent être appliquées sur au moins cinq pas de temps, entre l'extinction du courant et le recouvrement complet de la valve.



L'essai doit être effectué dans les deux sens de conduction de la valve.

### 9.3 Essai d'amorçage apériodique

#### 9.3.1 Objectifs

L'objectif de l'essai d'amorçage apériodique est de vérifier l'adéquation des thyristors et des circuits électriques correspondants, eut égard aux contraintes de courant et de tension à l'amorçage dans des conditions non périodiques. Un autre objectif est de vérifier l'insensibilité de la valve aux perturbations électromagnétiques (voir l'Article 7).

NOTE Dans de nombreuses circonstances, les objectifs de cet essai peuvent être satisfaits par l'essai de tension de choc de manœuvre entre bornes de la valve (voir 5.3.3), auquel cas il est admis d'omettre cet essai.

#### 9.3.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

L'essai doit être réalisé sur une valve complète à température ambiante.

Le circuit d'essai doit appliquer à la valve une tension de choc de manœuvre, et la valve doit être rendue conductrice à la crête de l'impulsion. La principale fonction du circuit d'essai, après amorçage de la valve, est de reproduire le courant correct de la valve à l'amorçage. Le créneau de temps important est constitué par les premiers instants de conduction, de 10  $\mu$ s à 20  $\mu$ s.

Le générateur de tension de choc doit être choisi pour avoir une impédance de source représentative, de manière à reproduire une impulsion de courant d'amorçage au moins aussi sévère que la décharge des capacités parasites du circuit telle qu'observée en service.

Les contraintes d'amorçage ainsi que le circuit d'essai prescrits dépendent de la méthode choisie pour protéger les valves contre les surtensions transitoires.

Forme d'onde 2: une forme d'onde normalisée de 250/2 500  $\mu$ s doit être utilisée.

##### a) Valve protégée par parafoudre

La tension d'essai présumée  $U_{tsv2}$  est déterminée de la manière suivante:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{forme d'onde 2}) \quad (38)$$

où

$U_{cms}$  est le niveau de protection du parafoudre;

$k_s$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_s = 1,0$ .

L'impédance du générateur d'impulsion doit être choisie de manière à reproduire non seulement le courant d'amorçage résultant de la décharge de capacité parasite du circuit, mais également celui qui résulte de la commutation du courant de parafoudre.

Il existe deux méthodes acceptables pour réaliser cet essai:

- 1) méthode du condensateur en parallèle: un condensateur est relié en parallèle à la valve soumise à l'essai; la valeur de ce condensateur entraîne une décharge de courant au moins aussi sévère que la décharge présumée de commutation du courant du parafoudre. La valve est mise en conduction lorsque la tension atteint  $U_{tsv2}$ .
- 2) méthode du parafoudre: un parafoudre est monté entre les bornes de la valve, et la tension d'essai est appliquée derrière une inductance représentative de la bobine d'inductance

TCR. Lorsque le courant dans le parafoudre atteint le niveau prescrit, la valve est mise en conduction.

Du fait des limitations imposées dans la pratique par la dimension des générateurs d'impulsion, la méthode du parafoudre ne convient qu'aux valves ayant une faible tension assignée.

Lorsque la protection contre l'amorçage de la valve, à des moments où du courant est présent dans le parafoudre, est fournie, il n'est pas nécessaire de tenir compte de la commutation du courant de parafoudre. Par conséquent, il est admis de réduire le niveau d'essai  $U_{cms}$  à la tension maximale de non-conduction du parafoudre.

### b) Valve protégée par VBO

La tension d'essai présumée  $U_{tsv2}$  est déterminée de la manière suivante:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{VBO} \quad (\text{forme d'onde 2}) \quad (39)$$

où

$U_{VBO}$  est le niveau de tension minimal de protection VBO;

$k_s$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_s = 0,95$ .

S'il peut être démontré que l'amorçage par action VBO équivaut à l'amorçage normal, l'essai peut être omis puisque l'objectif de l'essai est déjà satisfait au cours de l'essai de tension de choc de manœuvre entre bornes de la valve (voir 5.3.3).

### c) Valve sans protection:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{forme d'onde 2}) \quad (40)$$

où

$U_{cms}$  est le niveau de tension de choc de manœuvre présumée, selon la CEI 60071-1, Tableau 3, ou tel que déterminé par des études de coordination de l'isolement;

$k_s$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_s = 1,3 \text{ } 1,15$ .

### 9.3.3 Procédures d'essai

Une borne de la valve peut être mise à la terre.

Effectuer trois applications de la tension de choc de manœuvre. La valve doit être mise en conduction à la crête des tensions de choc de manœuvre. Recommencer l'opération pour la polarité inverse (ou en inversant les bornes de la valve).

## 10 Essais facultatifs sur valves TSC

### 10.1 Essai de tension positive transitoire pendant la période de recouvrement

#### 10.1.1 Objectif de l'essai

Il doit être démontré que la valve ne sera pas endommagée si une tension positive de choc de manœuvre a lieu à tout moment après extinction du courant.

NOTE Lorsqu'une protection externe de la valve est prévue pour permettre de supporter une telle situation, il convient que cette protection soit incluse dans l'essai.

### 10.1.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

Forme d'onde 1: utiliser une forme d'onde de 20/200  $\mu\text{s}$  qui s'approche, autant que possible, d'une forme d'onde d'extinction type, ou une autre forme d'onde approchée, si elle est acceptable du point de vue des études système.

La tension d'essai présumée  $U_{\text{tsv}}$  doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$U_{\text{tsv}} = k_s \times U_{\text{cms}} \quad (\text{forme d'onde 1}) \quad (41)$$

où

$U_{\text{cms}}$  est le niveau de protection minimal de la tension de choc de manœuvre de la valve défini par parafoudre, ou le niveau garanti de tenue de la valve lorsqu'aucune protection contre les surtensions n'est prévue;

$k_s$  est un facteur d'essai;

$k_s = 0,9$ .

La tension de choc, après extinction du courant, modifiera la polarité de la tension de la valve en une polarité qui alimente dans le sens passant les thyristors qui viennent de cesser d'être conducteurs. Pour les essais effectués sur une section de valve, l'amplitude  $U_{\text{tsv}}$  doit être échelonnée proportionnellement, conformément à 4.4.3.2.

### 10.1.3 Procédures d'essai

- Alimenter la valve avec un courant approprié tel que la jonction du thyristor soit pleinement conductrice et que  $di/dt$  au désamorçage soit correct.
- Bloquer la valve à la température maximale de jonction en régime établi.
- Soumettre la valve ou la section de valve aux tensions de choc spécifiées ci-dessus.

Les tensions de choc doivent être appliquées sur au moins cinq pas de temps, entre l'extinction du courant et le recouvrement complet de la valve.

L'essai doit être effectué dans les deux sens de conduction de la valve.

## 10.2 Essai d'amorçage apériodique

### 10.2.1 Objectifs

L'objectif de l'essai d'amorçage apériodique de la valve TSC est de vérifier l'adéquation des thyristors et des circuits électriques correspondants, eu égard aux contraintes de courant et de tension à l'amorçage dans des conditions non répétitives. Un autre objectif est de vérifier l'immunité de la valve aux perturbations électromagnétiques (voir l'Article 7).

NOTE Dans de nombreuses circonstances, les objectifs de cet essai peuvent être satisfaits par l'essai de surintensité (voir 6.4.1), auquel cas il est admis d'omettre le présent essai.

### 10.2.2 Valeurs d'essai et formes d'ondes

L'essai doit être réalisé sur une valve complète à température ambiante.

Le circuit d'essai doit appliquer à la valve une tension de choc de manœuvre telle que la valve doit être mise en conduction à la crête de l'impulsion. La principale fonction du circuit d'essai, après amorçage de la valve, est de reproduire le courant correct de la valve à l'amorçage. Le créneau de temps important est constitué par les premiers instants de conduction, de 10  $\mu\text{s}$  à 20  $\mu\text{s}$ .

Le générateur de tension de choc doit être choisi pour avoir une impédance de source représentative, de manière à reproduire une impulsion de courant d'amorçage au moins aussi sévère que la décharge des capacités parasites du circuit telle qu'observée en service.

Les contraintes d'amorçage ainsi que le circuit d'essai dépendent de la méthode choisie pour protéger les valves contre les surtensions transitoires.

L'impédance du générateur d'impulsion doit être choisie de manière à reproduire non seulement le courant d'amorçage résultant de la décharge des capacités parasites du circuit, mais également celui qui résulte de la commutation du courant de parafoudre, où celui-ci peut avoir lieu.

Forme d'onde 2: le standard 250/2 500 µs doit être utilisé.

### a) Valve protégée par des parafoudres

La tension d'essai présumée  $U_{tsv2}$  doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{forme d'onde 2}) \quad (42)$$

où

$U_{cms}$  est le niveau de protection du parafoudre pour les tensions de choc de manœuvre;

$k_s$  est un facteur de sécurité d'essai;

$k_s = 1,0$ .

Il existe deux méthodes acceptables pour réaliser cet essai:

- 1) méthode du condensateur en parallèle: un condensateur est relié en parallèle à la valve soumise à l'essai; la valeur de ce condensateur entraîne une décharge de courant au moins aussi sévère que la décharge présumée de commutation du courant du parafoudre;
- 2) méthode du parafoudre: un parafoudre est monté entre les bornes de la valve, et la tension d'essai est appliquée derrière une inductance représentative de la bobine d'inductance TSC en série. Lorsque le courant dans le parafoudre atteint le niveau prescrit, la valve est mise en conduction.

Du fait des limitations imposées dans la pratique par la dimension des générateurs d'impulsion, la méthode du parafoudre ne convient qu'aux valves ayant une faible tension assignée.

Lorsque la protection contre l'amorçage de la valve, à des moments où du courant est présent dans le parafoudre, est fournie, il n'est pas nécessaire de tenir compte de la commutation du courant de parafoudre. Par conséquent, il est admis de réduire le niveau d'essai  $U_{cms}$  à la tension maximale de non-conduction du parafoudre. Il est possible que l'objectif de cet essai ait déjà été atteint lors de l'essai de surintensité (voir 6.4.1), auquel cas cet essai peut être omis.

### b) Valve sans protection

La tension d'essai présumée  $U_{tsv2}$  doit être calculée à partir de la formule suivante:

$$U_{tsv2} = k_s \times U_{cms} \quad (\text{forme d'onde 2}) \quad (43)$$

où

$U_{cms}$  est le niveau de tension de choc de manœuvre présumée, selon la CEI 60071-1, Tableau 3, ou tel que déterminé par des études de coordination de l'isolement;

$k_s$  est un facteur de sécurité d'essai;

$$k_s = \textcolor{red}{1,3} \textcolor{red}{1,15}.$$

### 10.2.3 Procédures d'essai

Une borne de la valve peut être mise à la terre.

Effectuer trois applications de la tension de manœuvre; la valve est mise en conduction lorsque la tension atteint  $U_{tsv2}$ . Recommencer l'opération pour la polarité inverse (ou en inversant les bornes de la valve).

---





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](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)