

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

**High-voltage switchgear and controlgear –  
Part 104: Alternating current switches for rated voltages of 52 kV and above**

**Appareillage à haute tension –  
Partie 104: Interrupteurs à courant alternatif pour tensions assignées égales ou  
supérieures à 52 kV**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271 104:2009



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 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 Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland  
Email: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)  
Web: [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.

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

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

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

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: [www.iec.ch/webstore/custserv](http://www.iec.ch/webstore/custserv)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

### 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.

- Catalogue des publications de la CEI: [www.iec.ch/searchpub/cur\\_fut-f.htm](http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm)

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi 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 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: [www.iec.ch/webstore/custserv/custserv\\_entry-f.htm](http://www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

**High-voltage switchgear and controlgear –  
Part 104: Alternating current switches for rated voltages of 52 kV and above**

**Appareillage à haute tension –  
Partie 104: Interrupteurs à courant alternatif pour tensions assignées égales ou  
supérieures à 52 kV**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX



ICS 29.130.10; 29.130.99

ISBN 2-8318-1037-9

## CONTENTS

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                                                 | 5  |
| 1 General .....                                                                                               | 7  |
| 1.1 Scope .....                                                                                               | 7  |
| 1.2 Normative references .....                                                                                | 8  |
| 2 Normal and special service conditions .....                                                                 | 8  |
| 3 Terms and definitions .....                                                                                 | 8  |
| 3.1 General terms .....                                                                                       | 8  |
| 3.2 Assemblies .....                                                                                          | 8  |
| 3.3 Parts of assemblies .....                                                                                 | 8  |
| 3.4 Switching devices .....                                                                                   | 9  |
| 3.5 Parts of switches .....                                                                                   | 10 |
| 3.6 Operation .....                                                                                           | 10 |
| 3.7 Characteristic quantities .....                                                                           | 10 |
| 4 Ratings .....                                                                                               | 12 |
| 4.1 Rated voltage ( $U_r$ ) .....                                                                             | 12 |
| 4.2 Rated insulation level .....                                                                              | 12 |
| 4.3 Rated frequency ( $f_r$ ) .....                                                                           | 12 |
| 4.4 Rated normal current and temperature rise ( $I_r$ ) .....                                                 | 12 |
| 4.5 Rated short-time withstand current ( $I_k$ ) .....                                                        | 12 |
| 4.6 Rated peak withstand current ( $I_p$ ) .....                                                              | 12 |
| 4.7 Rated duration of short-circuit ( $t_k$ ) .....                                                           | 12 |
| 4.8 Rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits ( $U_a$ ) ..... | 12 |
| 4.9 Rated supply frequency of closing and opening devices and of auxiliary circuits .....                     | 12 |
| 4.10 Rated pressure of compressed gas supply for controlled pressure systems .....                            | 12 |
| 4.11 Rated filling levels for insulation and/or operation .....                                               | 12 |
| 4.101 Rated earth fault breaking current .....                                                                | 13 |
| 4.102 Rated short-circuit making current .....                                                                | 13 |
| 4.103 Rated mainly active load-breaking current .....                                                         | 13 |
| 4.104 Rated closed-loop breaking current .....                                                                | 13 |
| 4.105 Rated capacitive switching currents .....                                                               | 13 |
| 4.106 Inductive load switching .....                                                                          | 14 |
| 4.107 Rated mechanical terminal load .....                                                                    | 14 |
| 4.108 Coordination of rated values for a general-purpose switch .....                                         | 14 |
| 4.109 Coordination of rated values for limited-purpose and special-purpose switches .....                     | 15 |
| 5 Design and construction .....                                                                               | 15 |
| 5.1 Requirements for liquids in high-voltage switches .....                                                   | 15 |
| 5.2 Requirements for gases in high-voltage switches .....                                                     | 15 |
| 5.3 Earthing of high-voltage switches .....                                                                   | 15 |
| 5.4 Auxiliary equipment .....                                                                                 | 16 |
| 5.5 Dependent power operation .....                                                                           | 16 |
| 5.6 Stored energy operation .....                                                                             | 16 |
| 5.7 Independent manual or power operation (independent unlatched operation) .....                             | 16 |
| 5.8 Operation of releases .....                                                                               | 16 |

|       |                                                                                     |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.9   | Low- and high-pressure interlocking and monitoring devices.....                     | 16 |
| 5.10  | Nameplates .....                                                                    | 16 |
| 5.11  | Interlocking devices .....                                                          | 17 |
| 5.12  | Position indication .....                                                           | 18 |
| 5.13  | Degree of protection by enclosures.....                                             | 18 |
| 5.14  | Creepage distances for outdoor insulators .....                                     | 18 |
| 5.15  | Gas and vacuum tightness.....                                                       | 18 |
| 5.16  | Liquid tightness .....                                                              | 18 |
| 5.17  | Fire hazard (flammability) .....                                                    | 18 |
| 5.18  | Electromagnetic compatibility (EMC) .....                                           | 18 |
| 5.19  | X-ray emission.....                                                                 | 18 |
| 5.20  | Corrosion.....                                                                      | 18 |
| 5.101 | Closing mechanism .....                                                             | 18 |
| 5.102 | Mechanical strength.....                                                            | 18 |
| 5.103 | Position of the movable contact system and its indicating or signalling device..... | 18 |
| 6     | Type tests .....                                                                    | 19 |
| 6.1   | General .....                                                                       | 19 |
| 6.2   | Dielectric tests .....                                                              | 20 |
| 6.3   | Radio interference voltage (r.i.v.) tests .....                                     | 21 |
| 6.4   | Measurement of the resistance of circuits.....                                      | 21 |
| 6.5   | Temperature rise tests .....                                                        | 21 |
| 6.6   | Short-time withstand current and peak withstand current tests.....                  | 21 |
| 6.7   | Verification of the protection .....                                                | 21 |
| 6.8   | Tightness tests .....                                                               | 21 |
| 6.9   | Electromagnetic compatibility tests (EMC) .....                                     | 21 |
| 6.10  | Additional tests on auxiliary and control circuits.....                             | 21 |
| 6.11  | X-Radiation test procedure for vacuum interrupters .....                            | 21 |
| 6.101 | Mechanical operation tests .....                                                    | 22 |
| 6.102 | Miscellaneous provision for making and breaking tests .....                         | 24 |
| 6.103 | Test circuits for making and breaking tests .....                                   | 26 |
| 6.104 | Test quantities .....                                                               | 36 |
| 6.105 | Capacitive current switching tests.....                                             | 39 |
| 6.106 | Inductive load switching (test duty 5) .....                                        | 42 |
| 6.107 | Tests for general-purpose switches .....                                            | 43 |
| 6.108 | Tests for limited-purpose switches .....                                            | 44 |
| 6.109 | Tests for special-purpose switches .....                                            | 44 |
| 6.110 | Type test reports .....                                                             | 44 |
| 7     | Routine tests .....                                                                 | 45 |
| 7.1   | Dielectric tests on main circuit .....                                              | 45 |
| 7.2   | Tests on auxiliary and control circuits .....                                       | 45 |
| 7.3   | Measurement of the resistance of the main circuit .....                             | 45 |
| 7.4   | Tightness test .....                                                                | 45 |
| 7.5   | Design and visual checks .....                                                      | 45 |
| 7.101 | Mechanical operating tests .....                                                    | 45 |
| 8     | Guide to the selection of high-voltage switches .....                               | 46 |
| 8.1   | Selection of rated values .....                                                     | 46 |

|       |                                                                                                                                                             |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.2   | Continuous or temporary overload due to changed service conditions .....                                                                                    | 46 |
| 8.101 | General .....                                                                                                                                               | 46 |
| 8.102 | Conditions affecting application .....                                                                                                                      | 46 |
| 8.103 | Insulation coordination.....                                                                                                                                | 46 |
| 9     | Information to be given with enquiries, tenders and orders .....                                                                                            | 47 |
| 9.1   | Information with enquiries and orders .....                                                                                                                 | 47 |
| 9.2   | Information with tenders .....                                                                                                                              | 47 |
| 10    | Transport, storage, installation, operation and maintenance .....                                                                                           | 47 |
| 11    | Safety.....                                                                                                                                                 | 47 |
| 12    | Influence of the high voltage switch on the environment .....                                                                                               | 47 |
|       | Bibliography.....                                                                                                                                           | 48 |
|       | Figure 1 – Single-phase test circuit for mainly active load current switching for test duties 1 and 3.....                                                  | 27 |
|       | Figure 2 – Single-phase test circuit for transmission line closed loop and parallel-transformer current switching test, for test duties 2a and 2b .....     | 27 |
|       | Figure 3 – Three-phase test circuit for mainly active load current switching, for test duties 1 and 3.....                                                  | 28 |
|       | Figure 4 – Supply and load side transient for mainly active load current switching tests (see Table 4) .....                                                | 29 |
|       | Figure 5 – Three-phase test circuit for transmission line closed loop and parallel-transformer current switching test for test duties 2a and 2b .....       | 30 |
|       | Figure 6 – Illustration of the transient associated with transmission line closed loop current breaking tests (see Table 5).....                            | 32 |
|       | Figure 7 – Three-phase test circuit for short circuit making current test for test duty 6 .....                                                             | 35 |
|       | Figure 8 – Single-phase test circuit for short circuit making current test for test duty 6.....                                                             | 35 |
|       | Table 1 – Preferred values of line- and cable-charging breaking currents for a general-purpose switch.....                                                  | 15 |
|       | Table 2 – Nameplate information .....                                                                                                                       | 17 |
|       | Table 3 – Type tests .....                                                                                                                                  | 20 |
|       | Table 4 – Supply circuit TRV parameters for mainly active load current breaking tests .....                                                                 | 29 |
|       | Table 5 – TRV parameters for transmission line closed loop current breaking tests .....                                                                     | 31 |
|       | Table 6 – Test duties for single-phase tests on three-pole switches having a non-simultaneity between poles of 0,25 cycle or less .....                     | 32 |
|       | Table 7 – Test duties for single-phase tests on three-pole switches having more than 0,25 cycle non-simultaneity and switches operated pole after pole..... | 33 |
|       | Table 8 – TRV parameters for parallel transformer current breaking tests .....                                                                              | 34 |
|       | Table 9 – Test duties for three-phase tests on three-pole switches .....                                                                                    | 36 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

**Part 104: Alternating current switches  
for rated voltages of 52 kV and above**

## FOREWORD

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

International Standard IEC 62271-104 has been prepared by subcommittee 17A: High-voltage switchgear and controlgear, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

This standard cancels and replaces IEC 60265-2 (1988).

The main changes with respect to IEC 60265-2 are as follows:

- alignment with IEC 62271-1 and IEC 62271-100;
- requirements for capacitive current switching aligned with those in IEC 62271-100: classes C1 and C2 are introduced.

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

|              |                  |
|--------------|------------------|
| FDIS         | Report on voting |
| 17A/857/FDIS | 17A/865/RVD      |

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

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

This standard is to be read in conjunction with IEC 62271-1 (2007), IEC 62271-100, IEC 62271-102 (2001) and IEC 62271-110 (2005). In order to simplify the indication of corresponding requirements, the same numbering of clauses and subclauses is used as in IEC 62271-1. Modifications to these clauses and subclauses are given under the same numbering, whilst additional subclauses are numbered from 101.

A list of all the parts in the IEC 62271, under the general title *High-voltage switchgear and controlgear*, can be found on the IEC website.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-104:2009

## HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

### Part 104: Alternating current switches for rated voltages of 52 kV and above

#### 1 General

##### 1.1 Scope

This part of IEC 62271 is applicable to three-pole alternating current switches for rated voltages 52 kV and above, having making and breaking current ratings, for indoor and outdoor installations, and for rated frequencies up to and including 60 Hz.

This standard is also applicable to the operating devices of these switches and to their auxiliary equipment.

NOTE 1 Switches for gas insulated switchgear are covered by this standard.

NOTE 2 Switches having a disconnecting function and called switch-disconnectors are also covered by IEC 62271-102.

NOTE 3 Earthing switches are not covered by this standard. Earthing switches forming an integral part of a switch are covered by IEC 62271-102.

The main object of this standard is to establish requirements for switches used in transmission and distribution systems. General-purpose switches for this application are designed to comply with the following service applications:

- carrying rated normal current continuously;
- carrying short-circuit currents for a specified time;
- switching of mainly active loads;
- switching of no-load transformers;
- switching of the charging current of unloaded cables, overhead lines or busbars;
- switching of closed-loop circuits;
- making short-circuit currents.

A further object of this standard is to establish requirements for limited-purpose and special-purpose switches used in transmission and distribution systems.

Limited-purpose switches shall comply with one or more of the service applications indicated above.

Special-purpose switches may comply with one or more of the service applications indicated above and, in addition, shall be suitable for one or more of the following applications:

- switching single capacitor banks;
- switching back-to-back capacitor banks;
- switching shunt reactors including secondary or tertiary reactors switched from the primary side of the transformer;
- applications requiring an increased number of operating cycles;
- switching under earth fault conditions in non-effectively earthed neutral systems.

## 1.2 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 60050-441:1984, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

IEC 60059, *IEC standard current ratings*

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

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

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

IEC 62271-1:2007, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications*

IEC 62271-100: *High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers*

IEC 62271-101: *High-voltage switchgear and controlgear – Part 101: Synthetic testing*

IEC 62271-102:2001, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches*

IEC 62271-110:2005, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 110: Inductive load switching*

## 2 Normal and special service conditions

Clause 2 of IEC 62271-1 is applicable.

## 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, definitions of general terms are based on IEC 60050-441 and IEC 60071-1.

Additional terms and definitions are based solely on IEC 60050-441.

### 3.1 General terms

No particular definitions.

### 3.2 Assemblies

No particular definitions.

### 3.3 Parts of assemblies

No particular definitions.

### 3.4 Switching devices

#### 3.4.101

##### **switch**

switching device capable of making, carrying and breaking currents under normal circuit conditions, which may include specified operating overload conditions and also carrying for a specified time currents under specified abnormal circuit conditions, such as those of short-circuit

[IEV 441-14-10]

#### 3.4.102

##### **switch-disconnector**

switch which, in the open position, satisfies the isolating requirements specified for a disconnector

[IEV 441-14-12]

#### 3.4.103

##### **general-purpose switch**

switch capable of performing, with currents up to its rated breaking currents, all making and breaking operations which may normally occur; capable of carrying and making short-circuit currents

NOTE Refer to 4.108 for specific ratings of a general-purpose switch.

#### 3.4.104

##### **limited-purpose switch**

switch which complies with one or more, but not with all, service applications of a general-purpose switch

#### 3.4.105

##### **special-purpose switch**

switch suitable for switching requirements other than those specified for a general-purpose switch

NOTE Examples of such requirements are capacitor bank switching, shunt reactor switching, switching under earth fault conditions, and a capability of an increased number of operating cycles.

#### 3.4.106

##### **class C1 switch**

special-purpose switch with low probability of restrike during capacitive current breaking as demonstrated by specific type tests

#### 3.4.107

##### **class C2 switch**

special-purpose switch with very low probability of restrike during capacitive current breaking as demonstrated by specific type tests

#### 3.4.108

##### **single capacitor bank switch**

special-purpose switch intended for switching of a single capacitor bank with charging currents up to its rated single capacitor bank breaking current

#### 3.4.109

##### **back-to-back capacitor bank switch**

special-purpose switch intended for breaking capacitor bank-charging currents, with one or more capacitor banks connected to the bus or supply side of the switch, up to its rated back-to-back capacitor bank breaking current. The switch shall be capable of making the associated inrush current, up to its rated capacitor bank inrush making current

### 3.4.110

#### **shunt reactor switch**

special-purpose switch intended for switching a shunt reactor, including secondary or tertiary reactors switched from the primary side of the transformer

### 3.5 Parts of switches

No particular definitions.

### 3.6 Operation

No particular definitions.

### 3.7 Characteristic quantities

#### 3.7.101

##### **breaking capacity** (of a switching device or a fuse)

value of prospective current that a switching device or a fuse is capable of breaking at a stated voltage under prescribed conditions of use and behaviour

NOTE 1 The voltage to be stated and the conditions to be prescribed are dealt with in the relevant publications.

NOTE 2 For switching devices, the breaking capacity may be termed according to the kind of current included in the prescribed conditions, e.g. line-charging breaking capacity, cable charging breaking capacity, single capacitor bank breaking capacity, etc.

[IEV 441-17-08]

#### 3.7.102

##### **mainly active load breaking capacity**

breaking capacity when opening a mainly active load circuit in which the load can be represented by resistors and reactors in parallel

#### 3.7.103

##### **no-load transformer breaking capacity**

breaking capacity when opening a no-load transformer circuit

#### 3.7.104

##### **closed-loop breaking capacity**

breaking capacity when opening a closed transmission line loop circuit, or a transformer in parallel with one or more transformers, i.e. a circuit in which both sides of the switch remain energized after breaking, and in which the voltage appearing across the terminals is substantially less than the system voltage

#### 3.7.105

##### **cable-charging breaking capacity**

breaking capacity when opening a cable circuit at no load

#### 3.7.106

##### **line-charging breaking capacity**

breaking capacity when opening an overhead line circuit at no load

#### 3.7.107

##### **busbar charging breaking capacity**

breaking capacity when opening a busbar circuit at no load

#### 3.7.108

##### **single capacitor bank breaking capacity**

breaking capacity when opening a single capacitor bank circuit connected to a supply that does not include another capacitor bank adjacent to the bank being switched

**3.7.109****back-to-back capacitor bank breaking capacity**

breaking capacity when opening a capacitor bank circuit connected to a supply that includes one or more capacitor banks adjacent to the bank being switched

**3.7.110****capacitor bank inrush making current**

high frequency and high magnitude current occurring when closing a capacitor bank circuit onto a supply including one or more capacitor banks adjacent to the bank being switched

NOTE The frequency and magnitude of the inrush current depend upon the values of capacitance and the values of the inductance between the capacitor banks.

**3.7.111****shunt reactor breaking capacity**

breaking capacity when opening a shunt reactor circuit, including secondary or tertiary reactors switched from the primary side of the transformer

**3.7.112****earth-fault breaking capacity**

breaking capacity in the faulty phase of a non-effectively earthed neutral system when clearing an earth fault on an unloaded cable or overhead line on the load side of the switch

**3.7.113****cable and line charging breaking capacity under earth fault conditions**

breaking capacity in the sound phases of an effectively earthed neutral or non-effectively earthed neutral system when switching off an unloaded cable or overhead line, with an earth fault on the supply side of the switch

**3.7.114****breaking current** (of a switching device or a fuse)

current in a pole of a switching device or in a fuse at the instant of initiation of the arc during a breaking process

[IEV 441-17-07]

**3.7.115****(peak)-making current**

peak value of the first major loop of the current in a pole of a switch during the transient period following the initiation of current during a making operation

NOTE 1 The peak value may differ from one pole to another and from one operation to another as it depends on the instant of current initiation relative to the wave of the applied voltage.

NOTE 2 Where, for a polyphase circuit, a single value of (peak) making current is referred to, it is, unless otherwise stated, the highest value in any phase.

**3.7.116****short-circuit making capacity**

making capacity for which the prescribed conditions include a short-circuit at the terminals of the switching device

[441-17-10]

**3.7.117****simultaneity between poles**

maximum difference between the instant of contact touch in the first pole and the last pole when closing and the maximum time difference between the instant of contact separation between the first pole and the last pole when opening

## 4 Ratings<sup>1</sup>

Clause 4 of IEC 62271-1 is applicable with the additions indicated below.

### 4.1 Rated voltage ( $U_r$ )

Subclause 4.1 of IEC 62271-1 is applicable.

### 4.2 Rated insulation level

Subclause 4.2 of IEC 62271-1 is applicable.

### 4.3 Rated frequency ( $f_r$ )

Subclause 4.3 of IEC 62271-1 is applicable.

### 4.4 Rated normal current and temperature rise ( $I_r$ )

Subclause 4.4 of IEC 62271-1 is applicable.

### 4.5 Rated short-time withstand current ( $I_k$ )

Subclause 4.5 of IEC 62271-1 is applicable.

### 4.6 Rated peak withstand current ( $I_p$ )

Subclause 4.6 of IEC 62271-1 is applicable.

### 4.7 Rated duration of short-circuit ( $t_k$ )

Subclause 4.7 of IEC 62271-1 is applicable.

### 4.8 Rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits ( $U_a$ )

Subclause 4.8 of IEC 62271-1 is applicable.

### 4.9 Rated supply frequency of closing and opening devices and of auxiliary circuits

Subclause 4.9 of IEC 62271-1 is applicable.

### 4.10 Rated pressure of compressed gas supply for controlled pressure systems

Subclause 4.10 of IEC 62271-1 is applicable.

### 4.11 Rated filling levels for insulation and/or operation

Subclause 4.11 of IEC 62271-1 is applicable.

<sup>1</sup> Note concerning the rated values:

In English, the terms "rated making current" and "rated breaking current" are now used where formerly "rated making capacity" and "rated breaking capacity" were used, the intended meaning being adequately conveyed by the use of "rated". In French, the terms "pouvoir de fermeture assigné" and "pouvoir de coupure assigné" continue to be used.

#### **4.101 Rated earth fault breaking current**

The rated earth fault breaking current, for a non-effectively earthed neutral system is the maximum earth fault current in the faulted phase that the switch shall be capable of breaking at its rated voltage.

NOTE The TRV (transient recovery voltage) of an isolated neutral system is more severe than the TRV of a resonant earthed system, even if detuned.

#### **4.102 Rated short-circuit making current**

The rated short-circuit making current is the maximum peak prospective current that the switch shall be capable of making at its rated voltage.

#### **4.103 Rated mainly active load-breaking current**

The rated mainly active load-breaking current is the maximum mainly active load current that the switch shall be capable of breaking at its rated voltage.

#### **4.104 Rated closed-loop breaking current**

The rated closed-loop breaking current is the maximum closed-loop current the switch shall be capable of breaking. Separate ratings for transmission line loop current and parallel transformer current may be assigned.

#### **4.105 Rated capacitive switching currents**

##### **4.105.1 Rated line-charging breaking current**

The rated line-charging breaking current is the maximum line-charging current that the switch shall be capable of breaking at its rated voltage.

##### **4.105.2 Rated cable-charging breaking current**

The rated cable-charging breaking current is the maximum cable-charging current that the switch shall be capable of breaking at its rated voltage.

##### **4.105.3 Rated single capacitor bank breaking current**

The rated capacitor bank breaking current is the maximum capacitor current the switch shall be capable of breaking at the rated voltage under the conditions of use and behaviour prescribed in this standard. The breaking current refers to the switching of a shunt capacitor bank where no shunt capacitors are connected to the source side of the switch.

##### **4.105.4 Rated back-to-back capacitor bank breaking current**

The rated back-to-back capacitor bank breaking current is the maximum capacitor bank breaking current that the switch shall be capable of breaking at its rated voltage with one or more capacitor banks connected on the supply side of the switch adjacent to the bank being switched, such as to produce the rated capacitor bank inrush making current.

This breaking current refers to the switching of a shunt capacitor bank where one or several shunt capacitor banks are connected to the source side of the switch giving an inrush making current equal to the rated back-to-back capacitor bank inrush making current.

NOTE Similar conditions could apply for switching at substations with cables.

#### **4.105.5 Single capacitor bank inrush making current**

No rating or preferred values are defined. This is because inrush currents associated with single capacitor banks are not considered critical.

#### **4.105.6 Rated back-to-back capacitor bank inrush making current**

The rated back-to-back capacitor bank inrush making current is the peak value of the current that the switch shall be capable of making at its rated voltage and with a frequency of the inrush current appropriate to the service conditions (see Table 9 of IEC 62271-100).

NOTE The back-to-back capacitor bank making performance is covered when

- the tested peak inrush making current is equal to or greater than the rated value, and
- the tested frequency of the inrush making current is equal to or greater than 77 % of the rated value. The applicability of this rule is limited to frequencies below 6 000 Hz.

#### **4.105.7 Rated cable and line-charging breaking current under earth fault conditions**

The rated cable and line-charging breaking current under earth fault conditions, for a non-effectively earthed neutral system is the current in the sound phases that the switch shall be capable of breaking at its rated voltage.

NOTE The maximum cable and line-charging current under fault conditions is  $\sqrt{3}$  times the cable and line charging current occurring in normal conditions. This covers the most severe case, which occurs with individually screened cables.

### **4.106 Inductive load switching**

#### **4.106.1 Shunt reactor breaking current**

The shunt reactor breaking current is the maximum shunt reactor current that the switch shall be capable of breaking at its rated voltage.

NOTE The minimum shunt reactor breaking current, if other than zero, that the switch is capable of breaking should be specified by the manufacturer.

#### **4.106.2 Rated no-load transformer breaking current**

The rated no-load transformer breaking current is the maximum no-load transformer current the switch shall be capable of breaking at its rated voltage.

### **4.107 Rated mechanical terminal load**

Subclause 4.103 of IEC 62271-102 is applicable.

### **4.108 Coordination of rated values for a general-purpose switch**

A general-purpose switch shall have specific ratings for each switching duty as follows:

- rated mainly active load breaking current equal to the rated normal current;
- rated no-load transformer breaking current equal to 1,0 % of the rated normal current;
- rated transmission line loop breaking current equal to the rated normal current;
- rated parallel transformer breaking current equal to 50 % of the rated normal current;
- rated cable-charging breaking current as shown in Table 1;
- rated line-charging breaking current as shown in Table 1;
- rated short-circuit making current equal to the rated peak withstand current.

The standard values of ratings should be selected from the R10 series specified in IEC 60059.

**Table 1 – Preferred values of line- and cable-charging breaking currents for a general-purpose switch**

| Rated voltage<br>$U_r$<br>kV | Rated cable-charging<br>breaking current<br>$I_{4a}$<br>A | Rated line-charging breaking<br>current<br>$I_{4b}$<br>A |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 52                           | 25                                                        | 2                                                        |
| 72,5                         | 25                                                        | 3                                                        |
| 100                          | 31,5                                                      | 5                                                        |
| 123                          | 31,5                                                      | 8                                                        |
| 145                          | 31,5                                                      | 20                                                       |
| 170                          | 40                                                        | 12,5                                                     |
| 245                          | 40                                                        | 25                                                       |
| 300                          | 50                                                        | 31,5                                                     |
| 362                          | 50                                                        | 50                                                       |
| 420                          | 63                                                        | 63                                                       |
| 550                          | –                                                         | 80                                                       |
| 800                          | –                                                         | 125                                                      |

NOTE 1 Higher values selected from the R10 series may be stated by the manufacturer.

NOTE 2 Refer to IEC 62271-100 for suggested rated line- and cable-charging breaking currents for a special purpose switch.

#### 4.109 Coordination of rated values for limited-purpose and special-purpose switches

A limited-purpose switch should preferably have the same specific ratings as those for a general-purpose switch, where such ratings are applicable. If other ratings are specified, values from the R10 series should be selected.

A special-purpose switch is not required to have coordinated ratings. The rated values, however, should be selected from the R10 series specified in IEC 60059.

### 5 Design and construction

Clause 5 of IEC 62271-1 is applicable with the additions indicated below.

#### 5.1 Requirements for liquids in high-voltage switches

Subclause 5.1 of IEC 62271-1 is applicable.

#### 5.2 Requirements for gases in high-voltage switches

Subclause 5.2 of IEC 62271-1 is applicable.

#### 5.3 Earthing of high-voltage switches

Subclause 5.3 of IEC 62271-1 is applicable.

#### **5.4 Auxiliary equipment**

Subclause 5.4 of IEC 62271-1 is applicable.

#### **5.5 Dependent power operation**

Subclause 5.5 of IEC 62271-1 is applicable.

#### **5.6 Stored energy operation**

Subclause 5.6 of IEC 62271-1 is applicable.

#### **5.7 Independent manual or power operation (independent unlatched operation)**

Subclause 5.7 of IEC 62271-1 is applicable.

#### **5.8 Operation of releases**

Subclause 5.8 of IEC 62271-1 is applicable.

#### **5.9 Low- and high-pressure interlocking and monitoring devices**

Subclause 5.9 of IEC 62271-1 is applicable.

#### **5.10 Nameplates**

Subclause 5.10 of IEC 62271-1 is applicable. Switches and their operating devices shall be provided with nameplates which contain information in accordance with Table 2.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-104:2009

Table 2 – Nameplate information

| (1)                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Abbreviation<br>(2) | Unit<br>(3) | Switch<br>(4) | Operating device<br>(5) | Condition marking required only if<br>(6)           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------|---------------|-------------------------|-----------------------------------------------------|
| Manufacturer                                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |             | a             | a                       |                                                     |
| Designation of type                                                                                                                                                                                                                                                                     |                     |             | a             | a                       |                                                     |
| Serial number                                                                                                                                                                                                                                                                           |                     |             | a             | a                       |                                                     |
| Rated voltage                                                                                                                                                                                                                                                                           | $U_r$               | kV          | a             |                         |                                                     |
| Rated lightning impulse withstand voltage                                                                                                                                                                                                                                               | $U_p$               | kV          | a             |                         |                                                     |
| Rated switching impulse withstand voltage                                                                                                                                                                                                                                               | $U_s$               | kV          | c             |                         | Rated voltage $\geq 300$ kV                         |
| Rated frequency                                                                                                                                                                                                                                                                         | $f_r$               | Hz          | a             |                         |                                                     |
| Rated normal current                                                                                                                                                                                                                                                                    | $I_r$               | A           | a             |                         |                                                     |
| Rated short-time current                                                                                                                                                                                                                                                                | $I_k$               | kA          | a             |                         |                                                     |
| Rated duration of short circuit                                                                                                                                                                                                                                                         | $t_k$               | s           | c             |                         | Different from 1 s                                  |
| Rated short-circuit making current                                                                                                                                                                                                                                                      | $I_{ma}$            | kA          | a             |                         |                                                     |
| Number of operations for mainly active load breaking                                                                                                                                                                                                                                    | $N$                 |             | c             |                         | Different from 10                                   |
| Rated mainly active load breaking current                                                                                                                                                                                                                                               | $I_1$               | A           | b             |                         |                                                     |
| Rated transmission line closed loop breaking current                                                                                                                                                                                                                                    | $I_{2a}$            | A           | b             |                         |                                                     |
| Rated parallel transformer breaking current                                                                                                                                                                                                                                             | $I_{2b}$            | A           | b             |                         |                                                     |
| Rated cable-charging breaking current                                                                                                                                                                                                                                                   | $I_{4a}$            | A           | b             |                         |                                                     |
| Rated line-charging breaking current                                                                                                                                                                                                                                                    | $I_{4b}$            | A           | b             |                         |                                                     |
| Rated busbar charging breaking current                                                                                                                                                                                                                                                  | $I_{4c}$            | A           | b             |                         |                                                     |
| Rated single capacitor bank breaking current                                                                                                                                                                                                                                            | $I_{4d}$            | A           | b             |                         |                                                     |
| Rated back-to-back capacitor bank breaking current                                                                                                                                                                                                                                      | $I_{4e}$            | A           | b             |                         |                                                     |
| Rated no-load transformer breaking current                                                                                                                                                                                                                                              | $I_{5a}$            | A           | b             |                         |                                                     |
| Rated shunt reactor breaking current                                                                                                                                                                                                                                                    | $I_{5b}$            | A           | b             |                         |                                                     |
| Rated earth-fault breaking current                                                                                                                                                                                                                                                      | $I_{7a}$            | A           | b             |                         |                                                     |
| Rated cable and line charging breaking current under earth-fault conditions                                                                                                                                                                                                             | $I_{7b}$            | A           | b             |                         |                                                     |
| Rated back-to-back capacitor bank inrush making current                                                                                                                                                                                                                                 | $I_{in}$            | A           | b             |                         |                                                     |
| Rated filling pressure for operation                                                                                                                                                                                                                                                    | $p_{rm}$            | MPa         |               | b                       |                                                     |
| Rated filling pressure for interruption                                                                                                                                                                                                                                                 | $p_{re}$            | MPa         | b             |                         |                                                     |
| Rated auxiliary voltage                                                                                                                                                                                                                                                                 | $U_a$               | V           |               | a                       |                                                     |
| Mass (including liquid)                                                                                                                                                                                                                                                                 | $m$                 | kg          | c             | c                       | >300 kg                                             |
| Temperature class                                                                                                                                                                                                                                                                       |                     |             | c             | c                       | Different from<br>–5 °C indoor or<br>–25 °C outdoor |
| <p><sup>a</sup> The marking of these values is mandatory; blanks for these values on the nameplate indicate the value zero.</p> <p><sup>b</sup> The marking of these values is optional.</p> <p><sup>c</sup> The marking of these values is subject to the condition in column (6).</p> |                     |             |               |                         |                                                     |
| NOTE 1 Abbreviations in column (2) may be used instead of terms in column (1). When terms of column (1) are used, the word “rated” need not appear.                                                                                                                                     |                     |             |               |                         |                                                     |
| NOTE 2 It is permissible to combine abbreviations where values are identical, for example: $I_r I_1 I_{2a}$ 400 A.                                                                                                                                                                      |                     |             |               |                         |                                                     |

### 5.11 Interlocking devices

Subclause 5.11 of IEC 62271-1 is applicable.

### **5.12 Position indication**

Subclause 5.12 of IEC 62271-1 is applicable.

### **5.13 Degree of protection provided by enclosures**

Subclause 5.13 of IEC 62271-1 is applicable.

### **5.14 Creepage distances for outdoor insulators**

Subclause 5.14 of IEC 62271-1 is applicable.

### **5.15 Gas and vacuum tightness**

Subclause 5.15 of IEC 62271-1 is applicable.

### **5.16 Liquid tightness**

Subclause 5.16 of IEC 62271-1 is applicable.

### **5.17 Fire hazard (flammability)**

Subclause 5.17 of IEC 62271-1 is applicable.

### **5.18 Electromagnetic compatibility (EMC)**

Subclause 5.18 of IEC 62271-1 is applicable.

### **5.19 X-ray emission**

Subclause 5.19 of IEC 62271-1 is applicable.

### **5.20 Corrosion**

Subclause 5.20 of IEC 62271-1 is applicable.

## **5.101 Closing mechanism**

For switches having a short-circuit making current rating, only switches having stored energy closing or dependent power closing mechanisms are allowed.

## **5.102 Mechanical strength**

Switches shall be capable of bearing the rated mechanical terminal load when installed according to the manufacturer's instructions, as well as electromagnetic forces, without reduction of their reliability or current-carrying capacity.

## **5.103 Position of the movable contact system and its indicating or signalling device**

### **5.103.1 Securing the position**

Switches, including their operating devices, shall be so constructed that they cannot come out of their open or closed positions by forces arising from gravity, vibration, reasonable shocks or accidental touching of the connecting rods of their operating devices, or by electromagnetic forces. Switches or their operating devices shall be designed to allow the application of means to prevent unauthorized operation.

### 5.103.2 Indication of position

The open and closed positions of the switches shall be clearly indicated. This requirement is met if one of the following conditions is fulfilled: a) the gap or isolating distance is visible; b) the position of each movable contact is indicated by a reliable indicating device.

NOTE 1 A visible moving contact may serve as the indicating device.

NOTE 2 In some countries the design of the disconnecter is such that the isolating distance is visible.

NOTE 3 In the case where all poles of a switch are so coupled as to be operated as a single unit, it is permissible to use a common indicating device.

### 5.103.3 Auxiliary contacts for signalling

Signalling of the closed position shall not take place until it is certain that the movable contacts will reach a position in which the rated normal, peak withstand, and short-time withstand currents can be carried safely.

Signalling of the open position shall not take place until the movable contacts have reached a position such that the corresponding gap or isolating distance is at least 80 % of the total isolating distance, or until it is certain that the movable contacts will reach their fully open position.

## 6 Type tests

Clause 6 of IEC 62271-1 is applicable with the additions and exceptions indicated below.

### 6.1 General

The type tests for switches are listed in Table 3. The number of test specimens used for the type tests shall be in accordance with 6.1.1 of IEC 62271-1.

**Table 3 – Type tests**

| <b>Mandatory type tests</b>                                          |                                                                            | <b>Subclause</b>         |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Dielectric tests                                                     |                                                                            | 6.2                      |
| Measurement of the resistance of main circuit                        |                                                                            | 6.4                      |
| Temperature-rise tests                                               |                                                                            | 6.5                      |
| Short-time withstand current and peak withstand current tests        |                                                                            | 6.6                      |
| Additional tests on auxiliary and control circuits                   |                                                                            | 6.10                     |
| Mechanical operation test at ambient temperature                     |                                                                            | 6.101                    |
| Making and breaking tests                                            |                                                                            | 6.102 and 6.107          |
| <b>Type tests dependant upon application, rating or design</b>       | <b>Condition requiring type test</b>                                       | <b>Subclause</b>         |
| Radio interference voltage test                                      | $U_r \geq 123$ kV                                                          | 6.3                      |
| Verification of degree of protection                                 | Assigned IP class                                                          | 6.7                      |
| Tightness test                                                       | Controlled, sealed or closed pressure systems                              | 6.8                      |
| EMC tests                                                            | If electronic equipment or components are included in the secondary system | 6.9                      |
| Extended mechanical endurance tests on switches for special purposes | Class M2 rating assigned                                                   | 6.101.3                  |
| Low and high temperature test                                        | Assigned temperature class                                                 | 6.101.3 of IEC 62271-100 |
| Static terminal load tests                                           | Outdoor switches with $U_r \geq 52$ kV                                     | 6.101.6                  |
| Test to prove operation under severe ice conditions                  | Outdoor switches with rated ice thickness (10 mm or 20 mm)                 | 6.101.5                  |
| Partial discharge test                                               | When assigned                                                              | 6.2.9                    |
| Capacitive current switching tests                                   | When assigned                                                              | 6.103                    |
| Switching of inductive loads                                         | When assigned                                                              | 6.106                    |
| Breaking tests under earth fault conditions                          | $U_r < 245$ kV                                                             | 6.108                    |
| Tests for general-purpose switches                                   | General-purpose switches only                                              | 6.109                    |
| Tests for limited purpose switches                                   | Limited purpose switches only                                              | 6.110                    |
| Tests for special purpose switches                                   | Special purpose switches only                                              | 6.111                    |
| Artificial pollution test                                            | Outdoor switches used in polluted areas                                    | 6.2.8 of IEC 62271-1     |
| X-radiation test procedure for vacuum interrupters                   | Vacuum interrupters only                                                   | 6.11                     |

All of the mandatory type tests should be made on the complete high-voltage switch (filled with the specified types and quantities of liquid or gas at specified pressure or reduced pressure, as required), and on its operating devices and auxiliary equipment.

The high-voltage switch tested shall conform in all essential details to drawings of the type of switch specified.

## 6.2 Dielectric tests

Subclause 6.2 of IEC 62271-1 is applicable with the following exception:

### 6.2.9 Partial discharge tests

Subclause 6.2.9 of IEC 62271-1 is replaced by the following:

No partial discharge tests are required to be performed on the complete high voltage switch. However, in the case of switches using components for which a relevant IEC publication exists, including partial discharge measurements (e.g., bushings, IEC 60137[1]<sup>2</sup>), evidence shall be produced by the manufacturer showing that these components have passed the partial discharge tests as foreseen by the relevant IEC publication. For partial discharge measurements, refer to IEC 60270.

### 6.3 Radio interference voltage (r.i.v.) tests

Radio interference voltage tests shall be performed by agreement between manufacturer and user. Subclause 6.3 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

Tests may be performed on one pole of the switch in both closed and open positions.

NOTE These tests are not required for switches with rated voltages 52 kV to 100 kV, nor for switches used in gas-insulated substations.

### 6.4 Measurement of the resistance of circuits

Subclause 6.4 of IEC 62271-1 is applicable.

### 6.5 Temperature rise tests

Subclause 6.5 of IEC 62271-1 is applicable.

### 6.6 Short-time withstand current and peak withstand current tests

Subclause 6.6 of IEC 62271-1 is applicable.

### 6.7 Verification of the protection

Subclause 6.7 of IEC 62271-1 is applicable.

### 6.8 Tightness tests

Subclause 6.8 of IEC 62271-1 is applicable.

### 6.9 Electromagnetic compatibility tests (EMC)

Subclause 6.9 of IEC 62271-1 is applicable.

### 6.10 Additional tests on auxiliary and control circuits

Subclause 6.10 of IEC 62271-1 is applicable.

### 6.11 X-radiation test procedure for vacuum interrupters

Subclause 6.11 of IEC 62271-1 is applicable.

---

<sup>2</sup> Figures in square brackets refer to the bibliography.

## 6.101 Mechanical operation tests

### 6.101.1 Arrangement of the switch for tests

The switch for test should be mounted on its own support and its operating mechanism shall be operated in the specified manner. It shall be tested according to its type as follows:

- a three-pole switch, with all poles mounted on a common frame, shall be tested as a complete unit;
- a three-pole switch, in which each pole or each column is separately mounted, should be tested as a complete three-pole switch, but for convenience, or owing to the limitations of the dimensions of the test bay, one single-pole unit of the switch may be tested, provided that it is equivalent to, or not in a more favourable condition than, the complete three-pole switch over the range of tests with respect to:
  - mechanical travel characteristics in a making operation (for evaluation method see 6.101.1.1 of IEC 62271-100);
  - mechanical travel characteristics in a breaking operation (for evaluation method see 6.101.1.1 of IEC 62271-100);
  - availability of arc-extinguishing medium;
  - power and strength of closing and opening devices;
  - rigidity of structure.

When testing of a complete switch pole is not practicable, component tests may be accepted as type tests. Components are separate functional sub-assemblies which can be operated independently of the complete switch (e. g. pole, breaking unit, operating mechanism). The manufacturer should determine the components which are suitable for testing.

When component tests are made, the manufacturer shall prove that the mechanical stress on the component during the tests is not less than the mechanical stress applied to the same component when the complete switch is tested. When component tests are used for type tests as an alternative to the testing of the complete switch, they shall cover all different types of components of the complete switch, provided that the particular test is applicable to the component.

Parts of auxiliary and control equipment which have been manufactured in accordance with the relevant standards shall comply with such standards. The proper function of such parts in connection with the function of the other parts of the switch shall be verified.

Unless otherwise specified, the tests may be made at any convenient ambient air temperature.

The supply voltage of the operating device shall be measured at the terminals during operation of the switch. Auxiliary equipment forming part of the operating device shall be included. Impedance shall not be added between the supply and the terminals of the device for regulation of the applied voltage.

For manually operated switches, the handle may, for convenience of testing, be replaced by an external power device wherein the operating speed of the switch contacts is equivalent to that for operation with a manual handle.

### 6.101.2 Tests for general-purpose switches

The mechanical operation tests shall consist of 1 000 operating cycles without voltage on, or current in, the main circuit. If a capability beyond 1 000 operating cycles is required, tests should be conducted upon agreement between manufacturer and user.

A switch having a power-operating device shall be subjected to the following tests:

- 900 operating cycles at rated supply voltage and/or rated pressure of compressed gas supply;
- 50 operating cycles at the specified minimum supply voltage and/or minimum pressure of compressed gas supply;
- 50 operating cycles at the specified maximum supply voltage and/or maximum pressure of compressed gas supply.

A manually operated switch shall be subjected to the following test:

- 1 000 operating cycles using a range of operating forces typical of that to be expected in service.

No specific time intervals between operating cycles or between closing and opening operations are required. These tests shall be made, however, at a rate such that the temperature rises of the energized electrical control components do not exceed the specified values.

### **6.101.3 Tests for limited-purpose and special-purpose switches**

Unless otherwise specified, the tests performed for limited-purpose switches shall be in accordance with the tests required for a general-purpose switch.

In the case of frequently operated special-purpose switches, extended mechanical endurance tests shall be carried out according to 6.102.5 of IEC 62271-102.

### **6.101.4 Condition of switch during and after mechanical operation tests**

The fully closed and fully open positions shall be attained during each operating cycle.

Satisfactory operation of operating devices, of control and auxiliary contacts, and of position indicating devices (if any), shall be verified during the test.

Lubrication in accordance with the manufacturer's instructions is permissible during the test, but mechanical adjustments are not permitted.

After the tests, all parts shall be in good condition and shall not show excessive wear. Contacts shall be considered as coated only if there is still a layer of coating at the contact points after the tests; otherwise, they shall be treated as "not coated".

### **6.101.5 Operation under severe ice conditions**

#### **6.101.5.1 General**

If required, tests shall be performed in accordance with 6.103 of IEC 62271-102, with the following exception:

#### **6.101.5.2 Checking of operation**

The test may be considered satisfactory for switches with a dependent manual operation, even if several attempts are required for successful opening or closing. Switches having stored energy or dependent power operating mechanisms shall operate successfully on the first attempt.

### **6.101.6 Static terminal load tests**

The static mechanical terminal load test is made only upon agreement between manufacturer and user, and is performed to demonstrate that the high-voltage switch operates correctly when loaded with stresses resulting from ice, wind and connected conductors.

If tests are performed, 6.102.4 of IEC 62271-102 is applicable.

## **6.102 Miscellaneous provision for making and breaking tests**

### **6.102.1 Arrangement of the switch for tests**

The switch under test shall be completely mounted on its own support, or on an equivalent support. Its operating device shall be operated in the manner prescribed and in particular, if it is electrically or pneumatically operated, it shall be operated at the minimum supply voltage or air pressure, respectively.

Before commencing making and breaking tests, no-load operations shall be made, and details of the operating characteristics of the switch, such as speed of travel, closing time and opening time, shall be recorded.

If applicable, tests shall be performed at the minimum gas density of the gas for interruption and insulation.

Switches with manual operation may be operated by remote control or power operating means such that an operating speed equivalent to that of the manual operator is obtained.

Consideration shall be given to the effects of energization of either terminal of the switch. When the switch in service can be supplied or energized from either terminal, and the physical arrangement of one side of the switch differs from that of the other side, the supply side of the test circuit shall be connected to one side so as to represent the most onerous conditions. In case of doubt, 50 % of the total number of close-open operations of each test duty shall be carried out with the supply side on the test circuit connected to one side of the switch and the remaining 50 % of each test duty shall be made with the supply connected to the other side.

Making and breaking tests on three-pole switches shall be carried out as follows:

- a three-pole switch having all three poles mounted within a common enclosure shall be tested as a complete unit. Only three-phase making and breaking tests are permitted, unless it can be shown that there is no interaction or communication between poles during making or breaking.
- a three-pole switch not having completely independent switching devices should be tested as a complete unit. Three-phase making and breaking tests are preferable, but for convenience or due to laboratory limitations, single-phase tests on one pole of the switch may be performed, provided that it is not in a more favourable condition than the complete three-pole switch over the range of tests with respect to
  - mechanical characteristics in a making operation (for evaluation method see 6.101.1.1 of IEC 62271-100);
  - mechanical characteristics in a breaking operation (for evaluation method see 6.101.1.1 of IEC 62271-100);
  - availability of arc-extinguishing medium;
  - power and strength of closing and opening devices;
  - rigidity of structure.

Where single-phase tests are permitted, unit tests may be performed, provided that the switch satisfies the requirements of 6.102.4.1 of IEC 62271-100.

Single-phase or three-phase synthetic tests may be performed in accordance with IEC 62271-101.

For switches normally installed within a metal enclosure, except gas-insulated metal-enclosed switches, and having the characteristic of the emission of flame or metallic particles during breaking or making, the following procedure is required. The tests shall be made with the switch mounted within the metal enclosure or with metallic screens placed in the vicinity of the live parts, and separated from them by a clearance which the manufacturer shall specify. The screens, frame and other normally earthed parts shall be connected to earth through a fuse consisting of a copper wire 0,1 mm in diameter and 5 cm in length. No significant leakage current is assumed to have occurred if this wire is intact after the test.

#### **6.102.2 Behaviour of switch during breaking tests**

The switch shall perform successfully without evidence of mechanical or electrical distress. There shall be no flame or material ejected from the switch, or audible noise generated that may be harmful to operating personnel.

There shall be no outward emission of flame or metallic particles from the switch during operation, such as might impair the insulation level of the switch.

There shall be no significant leakage current to the earthed structure or screens, such as to endanger an operator or damage insulation materials.

#### **6.102.3 Condition of switch after breaking tests**

After the test, the switch shall not show significant deterioration, shall be capable of operating normally, carrying its rated normal current and withstanding the voltage specified under dielectric tests. The condition of the contacts shall not be such as to affect the performance materially at any making and/or breaking current up to its rated value. The arcing contacts or any other specified renewable parts may be worn. The quality of the oil or other material used for arc extinguishing may be impaired and its amount reduced below the normal level. There may be deposits on the insulators caused by the decomposition of the arc extinguishing medium.

Visual inspection and no-load operation of the switch after tests are usually sufficient for verification of the above requirements.

In case of doubt on the ability of the switch to meet the dielectric requirements, it shall be subjected to the relevant power-frequency voltage withstand tests in accordance with 6.2.11 of IEC 62271-100.

The isolating properties of a switch-disconnector in the open position shall not be reduced below those specified, by deterioration of insulating parts in the neighbourhood of, or parallel to, the isolating distance. The requirements for disconnectors in IEC 62271-102 shall be fulfilled.

#### **6.102.4 Condition of switch during and after short-circuit making tests**

No disruptive discharge between energized parts and earth, or between phases, shall have occurred during the test. The switch may sustain damage during the test, which may require maintenance, such as the replacement of parts, renewal of interrupting medium or cleaning and adjustment to restore the switch to its pre-test condition. Before maintenance, the switch shall meet the following criteria:

- a) mechanical conditions: the switch shall be mechanically operable and, when the opening operation is initiated, it shall open in the intended manner;
- b) breaking capability: the switch shall be capable of interrupting the rated breaking currents;
- c) dielectric requirements: the isolating properties across the open high-voltage switch and to earth shall not be reduced below those specified, by deterioration of insulating parts in the neighbourhood of, or parallel to, the isolating distance.

The isolating properties of a switch-disconnector in the open position shall not be reduced below those specified, by deterioration of insulating parts in the neighbourhood of, or parallel to, the isolating distance. The requirements for disconnectors in IEC 62271-102 shall be fulfilled;

- d) current-carrying capability: the switch shall be capable of carrying its rated current without the stabilized temperature rises of the metallic parts in contact with insulating material exceeding by more than 10 K the maximum values specified. No temperature rise limits apply to other parts of the switch, except that the temperature rise shall reach a stable value.

Visual inspection and no-load operation after tests are usually sufficient for checking the above requirements.

In case of doubt concerning the ability of the switch to meet the conditions of 6.102 c), it shall be subjected to the relevant power-frequency voltage withstand tests in accordance with 6.2.11 of IEC 62271-100.

## 6.103 Test circuits for making and breaking tests

### 6.103.1 General

Making and breaking tests on three-pole switches may be performed using three-phase test circuits or single-phase test circuits, except as noted in 6.101.1.

### 6.103.2 Earthing of test circuit and switch

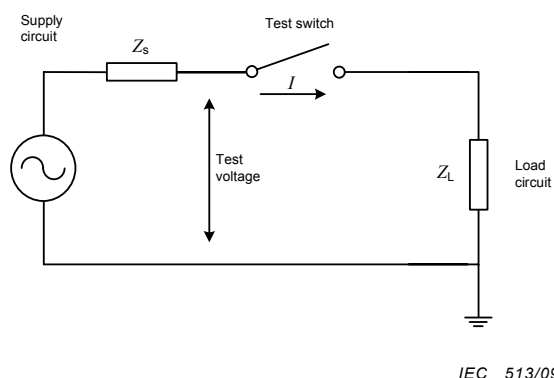
Breaking tests conducted on general-purpose, three-pole switches, with rated voltages of 170 kV and below, using a three-phase test circuit, shall be performed with either the neutral point of the supply earthed, or the neutral point of the load earthed. In the first case, the zero sequence impedance shall be less than three times the positive sequence impedance on the supply side. In either case, the test circuit and the frame of the switch shall be earthed so that the voltage conditions between live parts and earth and across the switch, after arc extinction, are representative of service voltage conditions.

General-purpose switches, with rated voltages of 245 kV and above, shall be tested using an earthed neutral for both the supply and load circuits.

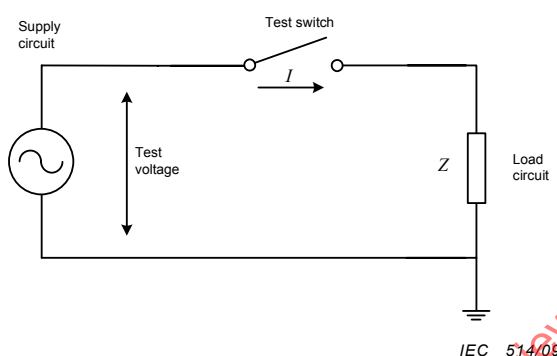
For single-phase breaking tests on three-pole switches or for tests on single-pole switches, tests shall be performed with one terminal of the pole to be tested connected to the supply, and the other terminal connected to the load. The common-side connection of the load and supply may be earthed, as shown in Figures 1 and 2, for example. However, when it is necessary to ensure the correct voltage distribution between the units of a multi-unit switch, another point of the supply circuit may be connected to earth.

For capacitive test circuits, refer to 6.105.1 and 6.105.2. The connections used in all tests shall be indicated in the test report.

**NOTE** The recommended earthing connections for general-purpose switches are based upon the conditions that, for rated voltages 170 kV and below, the system is non-effectively earthed (supply or load or both), and for rated voltages 245 kV and above, the system is earthed (both supply and load). For other earthing conditions, tests for special-purpose or limited-purpose switches are to be conducted and breaking ratings are to be established, by agreement between the manufacturer and user.



**Figure 1 – Single-phase test circuit for mainly active load current switching for test duties 1 and 3**



**Figure 2 – Single-phase test circuit for transmission line closed loop and parallel-transformer current switching test, for test duties 2a and 2b**

Test voltage and current defined in Table 6 and 7

Supply circuit:

- Power factor  $\leq 0,2$
- $Z_T = Z_S + Z_L$
- $|Z_S| = (0,15 \pm 0,03) |Z_T|$
- TRV parameters: Tables 4, 6 and 7

Load circuit:

- Power factor = 0,65 to 0,75

**Test duty 2a – Transmission line closed loop circuit:**

- Test voltage, current and TRV parameters defined in Tables 5, 6 and 7
- Power factor  $\leq 0,3$

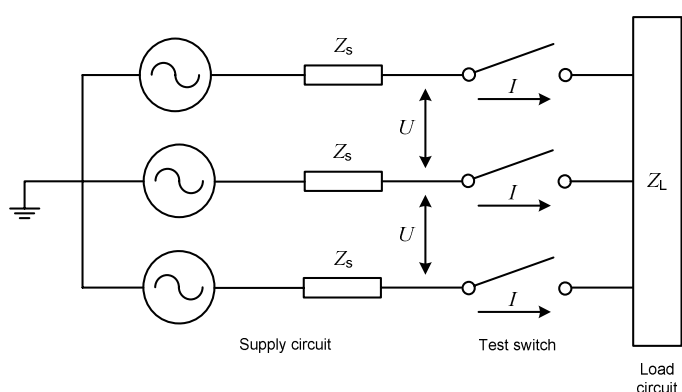
**Test duty 2b – Parallel-transformer circuit:**

- Test voltage, current and TRV parameters defined in Tables 5, 6 and 7
- Power factor  $\leq 0,2$

### 6.103.3 Mainly active load circuit (test duty 1 and test duty 3)

The test circuits shown in Figures 1 and 3, consist of a supply circuit and a load circuit. The supply circuit, representing the total series impedance, shall have series-connected reactance and resistance and shall have a power factor not exceeding 0,2. The impedance of the supply circuit shall be  $(15 \pm 3) \%$  of the total impedance of the test circuit for test duty 1 (at 100 % of the rated current). The same supply circuit impedance shall be used for all tests at reduced current levels.

The impedance representing the supply side circuit may be connected on the source side of the switch, or split on both sides. The prospective transient recovery voltage of the supply circuit, under conditions of a terminal fault, shall not be less severe than those specified in Table 4. The load circuit should have a power factor of  $0,7 \pm 0,05$  and shall consist of reactors and resistors connected in parallel. Lower power factors may be used at the discretion of the manufacturer.



IEC 515/09

Test duty 1:  $I = I_1$

Test duty 3:  $I = 0,05 I_1$

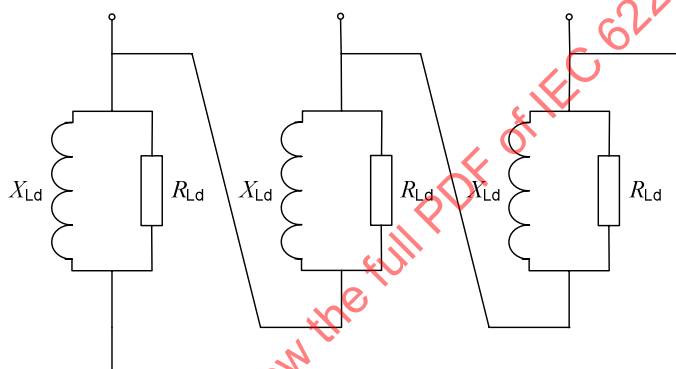
Supply circuit:

- Power factor  $\leq 0,2$
- $Z_T = Z_s + Z_L$
- $|Z_s| = (0,15 \pm 0,03) |Z_T|$
- TRV parameters: Table 4

Load circuit:

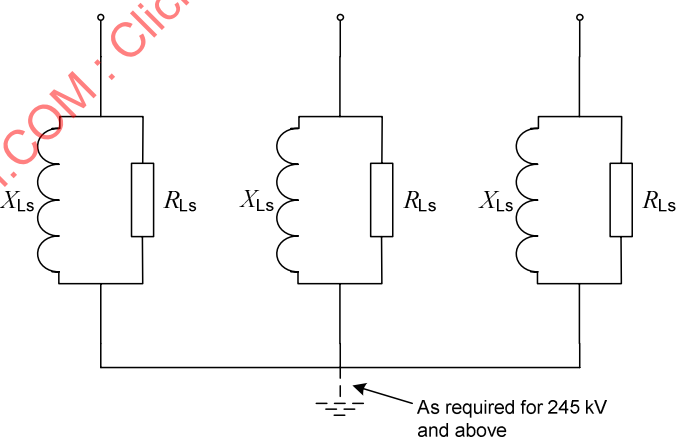
- Power factor = 0,65 to 0,75

Figure 3a – General circuit



IEC 516/09

Figure 3b – Delta connected load circuit



IEC 517/09

Figure 3c – Star connected load circuit

**Key**

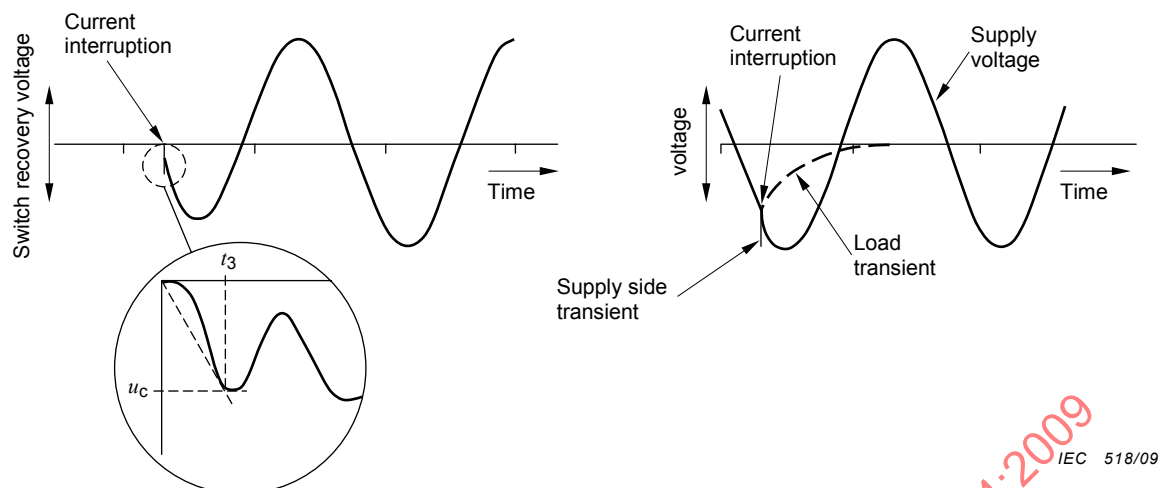
$X_{Ld}$  Inductive impedance of the load circuit for Delta connected load

$R_{Ld}$  Damping resistance of the load circuit for Delta connected load

$X_{Ls}$  Inductive impedance of the load circuit for Star connected load

$R_{Ls}$  Damping resistance of the load circuit for Star connected load

**Figure 3 – Three-phase test circuit for mainly active load current switching, for test duties 1 and 3**



IEC 518/09

**Figure 4 – Supply and load side transient for mainly active load current switching tests (see Table 4)**

**Table 4 – Supply circuit TRV parameters for mainly active load current breaking tests**

| Rated voltage<br>$U_r$<br><br>kV | Supply component            |                                           |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|
|                                  | Peak voltage<br>$u_c$<br>kV | Time coordinate<br>$t_3$<br>$\mu\text{s}$ |
| 52                               | 11                          | 23                                        |
| 72,5                             | 15                          | 28                                        |
| 100                              | 21                          | 34                                        |
| 123                              | 26                          | 40                                        |
| 145                              | 30                          | 45                                        |
| 170                              | 36                          | 51                                        |
| 245                              | 34                          | 66                                        |
| 300                              | 42                          | 73                                        |
| 362                              | 50                          | 82                                        |
| 420                              | 60                          | 88                                        |
| 550                              | 76                          | 102                                       |
| 800                              | 110                         | 119                                       |

NOTE 1 The transient is of the (1-cos) form and the values are for the first-pole-to-clear. The switch supply and load transients are illustrated in Figure 4.

NOTE 2 The series supply impedance is 15 % of the total impedance with a power factor of 0,2 or less. The load consists of parallel resistance and reactance. The TRV from the load is an exponentially decaying voltage whose peak is determined by the power factor of the load. Thus, the load side TRV is completely determined by the load circuit and need not be specified.

NOTE 3 The series supply impedance is a combination of local transformer impedance (10 % assumed) and remote supply impedance (5 % assumed). The transformer TRV frequency is much greater than the remote supply TRV frequency, therefore the supply circuit component of the TRV is derived only from the transformer contribution. The first-pole-to-clear factor  $k_{pp}$  is 1,5 for rated voltages below 245 kV assuming non-effectively earthed neutral transformers and 1,0 for rated voltages 245 kV and above, assuming solidly earthed neutral transformers. The amplitude factor is assumed to be 1,7 in accordance with IEC 62271-100 for short-circuit test duty T10.

$$u_c = U_r \sqrt{\frac{2}{3}} \times k_{pp} \times 1,7 \times 0,10$$

#### 6.103.4 Closed-loop circuits (test duty 2)

##### a) Transmission line circuit (test duty 2a)

The test circuits, Figures 2 and 5, shall have a power factor not exceeding 0,3. The prospective transient recovery voltages shall not be less than those specified in Table 5.

The open-circuit, phase-to-phase test voltages for three-phase tests on three-pole switches are 20 % of rated voltage for switches having rated voltages below 300 kV, and 15 % of rated voltage for switches having rated voltages of 300 kV and above. Test voltages for single-phase tests are shown in Tables 6 and 7.

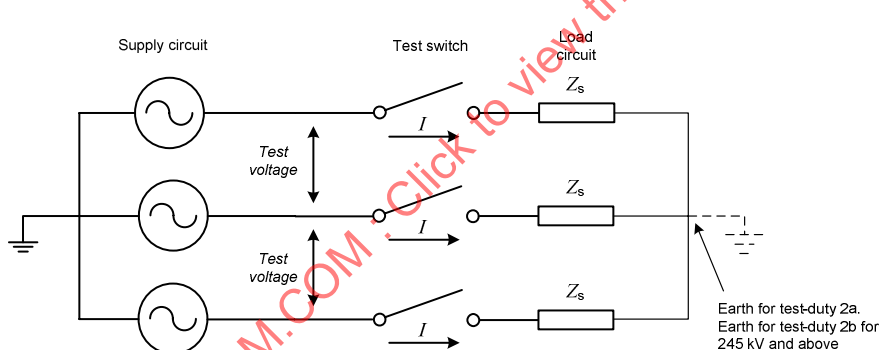
NOTE These values are tentative and are subject to revision.

Unusually long or series compensated transmission lines are considered to be special cases wherein the actual voltages may be higher than those specified. Tests shall be conducted for these applications upon agreement between manufacturer and user.

The prospective transient recovery voltage waveforms specified have the form of a triangular wave due to the surge impedance of the connected transmission lines. A transient recovery voltage having a (1-cos) form may be used, however, for convenience in testing, if the RRRV (rate of rise of recovery voltage) and  $u_c$  values as specified in Table 5 are achieved as evaluated by the 2 parameter method.

##### b) Parallel transformer circuit (test duty 2b)

The test circuits, Figures 2 and 5, shall have a power factor not exceeding 0,2. The prospective transient recovery voltages shall be not less severe than those specified in Table 8.



Test duty 2a – Transmission circuit:

- Test voltage =  $0,20 U_r$  for rated voltages  $<300$  kV
- Test voltage =  $0,15 U_r$  for rated voltages  $\geq 300$  kV
- Test current =  $I_{2a}$
- Power factor  $\leq 0,3$
- TRV parameters: Table 5

Test duty 2b – Parallel-transformer circuit:

- Test voltage =  $0,15 U_r$
- Test current =  $I_{2b}$
- Power factor  $\leq 0,2$
- TRV parameters: Table 8

IEC 519/09

**Figure 5 – Three-phase test circuit for transmission line closed loop and parallel-transformer current switching test for test duties 2a and 2b**

**Table 5 – TRV parameters for transmission line closed loop current breaking tests**

| Rated voltage<br>$U_r$<br><br>kV | Peak voltage<br>$u_c$<br><br>kV | RRRV factor <sup>a</sup><br>kV/μs per kA |       |
|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|-------|
|                                  |                                 | 60 Hz                                    | 50 Hz |
| 52                               | 14                              | 0,227                                    | 0,189 |
| 72,5                             | 19                              | 0,227                                    | 0,189 |
| 100                              | 26                              | 0,227                                    | 0,189 |
| 123                              | 32                              | 0,227                                    | 0,189 |
| 145                              | 38                              | 0,227                                    | 0,189 |
| 170                              | 44                              | 0,227                                    | 0,189 |
| 245                              | 64                              | 0,227                                    | 0,189 |
| 300                              | 59                              | 0,174                                    | 0,145 |
| 362                              | 71                              | 0,174                                    | 0,145 |
| 420                              | 82                              | 0,174                                    | 0,145 |
| 550                              | 110                             | 0,174                                    | 0,145 |
| 800                              | 157                             | 0,174                                    | 0,145 |

<sup>a</sup> The time coordinate can be calculated from the RRRV factor per kA for a given peak voltage  $u_c$  and test current in kA using the following equation:

$$t_3 = \frac{u_c}{(\text{RRRV factor} \times \text{test current (in kA)})}$$

NOTE 1 The transient has the form of a linear ramp to crest voltage. For convenience in testing, a transient of the (1-cos) form may be used. A typical transient is illustrated in Figure 6.

NOTE 2 Steady-state, phase-to-phase, open circuit test voltage is to be 20 % of rated voltage below 300 kV and 15 % of rated voltage of 300 kV and above.  $u_c$  is based on a solidly earthed neutral system having a first-pole-to-clear factor  $k_{pp}$  of 1,0 and an amplitude factor equal to 1,6 in accordance with IEC 62271-100 regarding amplitude factors associated with short-line faults.

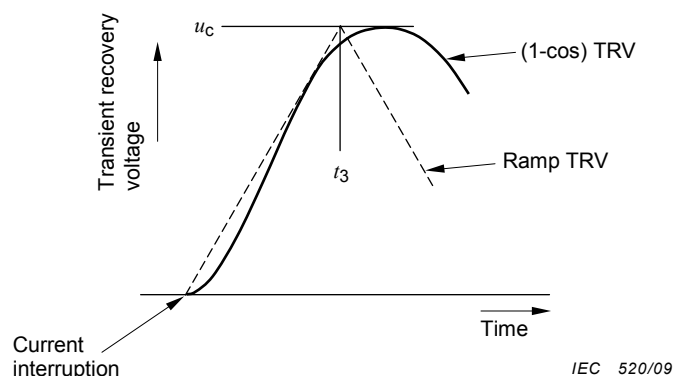
$$u_c = U_r \times (0,20 \text{ or } 0,15) \sqrt{\frac{2}{3}} \times 1,0 \times 1,6$$

NOTE 3 The RRRV is based on  $di/dt$  times the equivalent surge impedance  $Z_{eq}$ . The equivalent surge impedance was calculated for the first-pole-to-open since the switch current is the highest in this case.

$$Z_{eq} = \frac{3 \left( \frac{Z_1}{2} \right) Z_0}{\left( \frac{Z_1}{2} \right) + Z_0}$$

where  $Z_1$  is the positive sequence surge impedance and  $Z_0$  is the zero sequence surge impedance.

$Z_{eq} = 425 \, \Omega$  for 245 kV and below and  $325 \, \Omega$  above 245 kV.  $Z_{eq}$  is not the same as that typically used for short line faults.  $Z_{eq}$  is for the first pole to open rather than the last pole to open used in short line faults. The surge impedance changes above 245 kV because of the use of bundled conductors. Note also that the conductors do not clash together during closed loop switching.



**Figure 6 – Illustration of the transient associated with transmission line closed loop current breaking tests (see Table 5)**

**Table 6 – Test duties for single-phase tests on three-pole switches having a non-simultaneity between poles of 0,25 cycle or less**

| Test duty |                                                    | Rated voltage                 | Test voltage <sup>1)</sup><br>+10 %<br>0  | Test current<br>+10 %<br>0            |
|-----------|----------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| No.       | Type                                               |                               |                                           |                                       |
| 1*        | 100 % mainly active load current                   | <245 kV                       | $1,5 \times U_r / \sqrt{3}$ <sup>2)</sup> | $I_1$                                 |
|           |                                                    | $\geq 245$ kV                 | $U_r / \sqrt{3}$                          | $I_1$                                 |
| 2a*       | Closed loop-transmission circuit current           | <300 kV                       | $0,20 \times U_r / \sqrt{3}$              | $I_{2a}$                              |
|           |                                                    | $\geq 300$ kV                 | $0,15 \times U_r / \sqrt{3}$              |                                       |
| 2b*       | Closed loop-parallel transformer circuit current   | <245 kV                       | $1,5 \times 0,15 \times U_r / \sqrt{3}$   | $I_{2b}$                              |
|           |                                                    | $\geq 245$ kV                 | $0,15 \times U_r / \sqrt{3}$              | $I_{2b}$                              |
| 3*        | 5 % mainly active load current                     | <245 kV                       | $1,5 \times U_r / \sqrt{3}$ <sup>2)</sup> | $0,05 \times I_1$                     |
|           |                                                    | $\geq 245$ kV                 | $U_r / \sqrt{3}$                          | $0,05 \times I_1$                     |
| 4a*       | Cable charging current                             | All                           | $U_r / \sqrt{3}$                          | $I_{4a}$<br>$(0,1-0,4) \times I_{4a}$ |
| 4b*       | Line charging current                              | All                           | $1,2 \times U_r / \sqrt{3}$ <sup>2)</sup> | $I_{4b}$<br>$(0,1-0,4) \times I_{4b}$ |
| 4c        | Bus-bar charging current                           | All                           | **                                        | **                                    |
| 4d        | Single capacitor bank current                      | All                           | 2) 3)                                     | $I_{4d}$<br>$(0,1-0,4) \times I_{4d}$ |
| 4e        | Back-to-back capacitor bank current                | All                           | 2) 3)                                     | $I_{4e}$<br>$(0,1-0,4) \times I_{4e}$ |
| 5a        | No-load transformer current                        | All                           | **                                        | **                                    |
| 5b        | Shunt reactor current                              | < 100 kV                      | $1,5 \times U_r / \sqrt{3}$               | 630 A<br>200 A <sup>4)</sup>          |
|           |                                                    | $\geq 100$ kV<br>and < 245 kV | $1,5 \times U_r / \sqrt{3}$               | 315 A<br>100 A <sup>4)</sup>          |
|           |                                                    | $\geq 245$ kV                 | $U_r / \sqrt{3}$                          | 315 A<br>100 A <sup>4)</sup>          |
|           |                                                    |                               |                                           |                                       |
| 6*        | Short-circuit making current                       | All                           | $U_r / \sqrt{3}$                          | $I_{ma}$                              |
| 7a        | Earth fault current                                | < 245 kV                      | $U_r / \sqrt{3}$                          | $I_{7a}$                              |
| 7b        | Cable and line charging current under earth faults | < 245 kV                      | $U_r$                                     | $I_{7b}$                              |

|                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * These test duties are required for a general-purpose switch.                                                  |
| ** By agreement between manufacturer and user.                                                                  |
| 1) TRV values are as specified in appropriate tables.                                                           |
| 2) Test voltage can be reduced to $U_r / \sqrt{3}$ for making operations.                                       |
| 3) The test voltage is defined in 6.105.7, Test voltages.                                                       |
| 4) If a minimum breaking current is specified, then this specified breaking current is applicable for the test. |

**Table 7 – Test duties for single-phase tests on three-pole switches having more than 0,25 cycle non-simultaneity and switches operated pole after pole**

| Test duty                                                      |                                                    | Rated voltage       | Test voltage <sup>1)</sup><br>+10 %<br>0 | Test current<br>+10 %<br>0       |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------|----------------------------------|
| No.                                                            | Type                                               |                     |                                          |                                  |
| 1*                                                             | 100 % mainly active load current                   | <245 kV             | $1,5 \times U_r / \sqrt{3}$              | $I_1$                            |
|                                                                |                                                    | ≥245 kV             | $U_r / \sqrt{3}$                         | $I_1$                            |
| 2a*                                                            | Closed loop-transmission circuit current           | <300 kV             | $0,20 \times U_r / \sqrt{3}$             | $I_{2a}$                         |
|                                                                |                                                    | ≥300 kV             | $0,15 \times U_r / \sqrt{3}$             |                                  |
| 2b*                                                            | Closed loop-parallel transformer circuit current   | <245 kV             | $1,5 \times 0,15 \times U_r / \sqrt{3}$  | $I_{2b}$                         |
|                                                                |                                                    | ≥245 kV             | $0,15 \times U_r / \sqrt{3}$             | $I_{2b}$                         |
| 3*                                                             | 5 % mainly active load current                     | <245 kV             | $1,5 \times U_r / \sqrt{3}$              | $0,05 \times I_1$                |
|                                                                |                                                    | ≥245 kV             | $U_r / \sqrt{3}$                         | $0,05 \times I_1$                |
| 4a*                                                            | Cable charging current                             | All                 | $U_r / \sqrt{3}$                         | $I_{4a}$<br>(0,1–0,4) × $I_{4a}$ |
| 4b*                                                            | Line charging current                              | All                 | 2)                                       | $I_{4b}$<br>(0,1–0,4) × $I_{4b}$ |
| 4c                                                             | Bus-bar charging current                           | All                 | **                                       | **                               |
| 4d                                                             | Single capacitor bank current                      | All                 | 3)                                       | $I_{4d}$<br>(0,1–0,4) × $I_{4d}$ |
| 4e                                                             | Back-to-back capacitor bank current                | All                 | 3)                                       | $I_{4e}$<br>(0,1–0,4) × $I_{4e}$ |
| 5a                                                             | No-load transformer current                        | All                 | **                                       | **                               |
| 5b                                                             | Shunt reactor current                              | < 100 kV            | $1,5 \times U_r / \sqrt{3}$              | 630 A                            |
|                                                                |                                                    |                     |                                          | 200 A <sup>4)</sup>              |
|                                                                |                                                    | ≥100 kV and <245 kV | $1,5 \times U_r / \sqrt{3}$              | 315 A                            |
|                                                                |                                                    |                     |                                          | 100 A <sup>4)</sup>              |
| 6* <sup>5)</sup>                                               | Short-circuit making current                       | All                 | $U_r$                                    | $0,87 I_{ma}$                    |
|                                                                |                                                    |                     | $U_r / \sqrt{3}$                         | $I_{ma}$                         |
|                                                                |                                                    |                     | $U_r / \sqrt{3}$                         | $I_{7a}$                         |
| 7a                                                             | Earth fault current                                | <245 kV             | $U_r / \sqrt{3}$                         | $I_{7a}$                         |
| 7b                                                             | Cable and line charging current under earth faults | <245 kV             | $U_r$                                    | $I_{7b}$                         |
| * These test duties are required for a general-purpose switch. |                                                    |                     |                                          |                                  |
| ** By agreement between manufacturer and user.                 |                                                    |                     |                                          |                                  |

- 1) TRV values are as specified in appropriate tables.
- 2) For switches operated pole after pole, the test voltage is defined in 6.105.7. For all others, use  $1,5 \times U_r / \sqrt{3}$ .
- 3) The test voltage is defined in 6.105.7, Test voltages
- 4) If a minimum breaking current is specified, this specified breaking current is applicable for the test.
- 5) Two tests are required as specified above. For switches operated pole after pole, the test voltage at  $1,0 \times I_{ma}$  can be reduced to  $U_r / \sqrt{3}$ .

**Table 8 – TRV parameters for parallel transformer current breaking tests**

| Rated voltage<br>$U_r$<br>kV | Peak voltage<br>$u_c$<br>kV | Time coordinate factor<br>$K^*$ |       |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------|
|                              |                             | 60 Hz                           | 50 Hz |
| 52                           | 8,1                         | 11                              | 12    |
| 72,5                         | 11,5                        | 13                              | 14    |
| 100                          | 16                          | 16                              | 17    |
| 123                          | 19                          | 17                              | 19    |
| 145                          | 23                          | 22                              | 24    |
| 170                          | 27                          | 24                              | 27    |
| 245                          | 26                          | 28                              | 31    |
| 300                          | 31                          | 32                              | 35    |
| 362                          | 38                          | 44                              | 48    |
| 420                          | 44                          | 47                              | 51    |
| 550                          | 58                          | 61                              | 67    |
| 800                          | 84                          | 61                              | 67    |

\* The time coordinate can be calculated as  $t_3 = \frac{K}{\sqrt{I}}$ , where  $t_3$  is in  $\mu s$  and  $I$  is the test current in kA.

NOTE 1 The transient is of the (1-cos) form and the values are for the first-pole-to-clear.

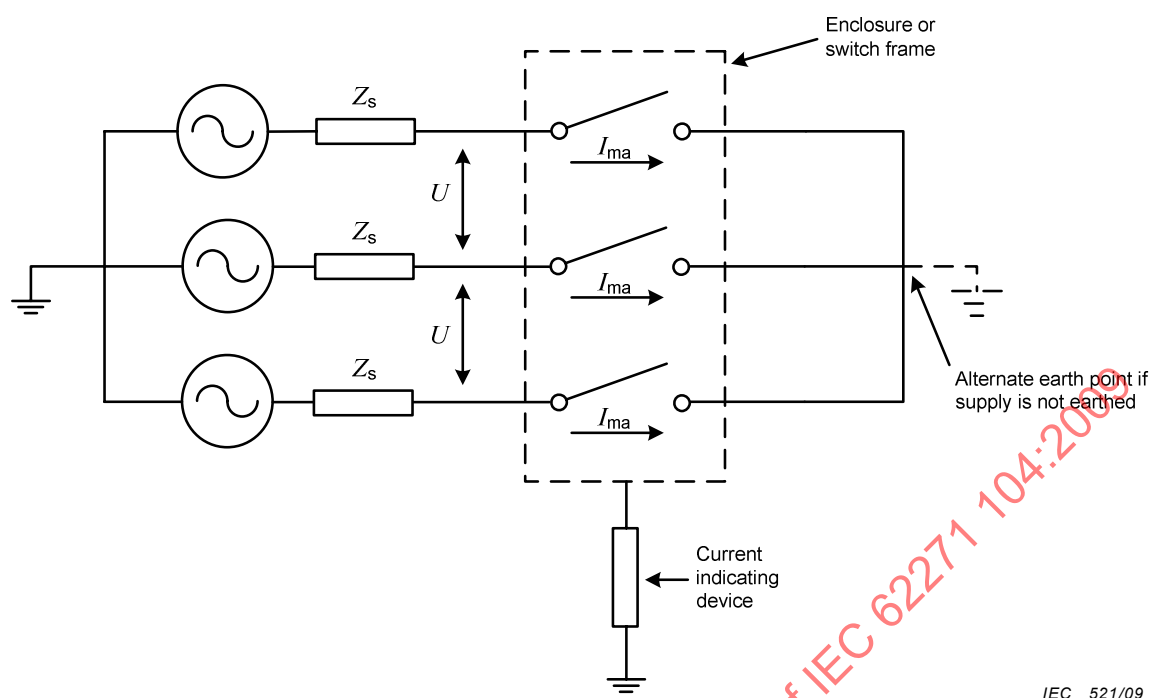
NOTE 2 The first-pole-to-clear factor  $k_{pp}$  is 1,0 for rated voltages of 245 kV and above, assuming solidly earthed neutral systems, and 1,5 for rated voltages below 245 kV, assuming non-effectively earthed neutral systems. Amplitude factor is assumed to be 1,7 in accordance with IEC 62271-100 for short-circuit test duty T10. It is assumed that two transformers are in parallel with one transformer being switched. The TRV is mainly from the transformer being switched. This implies that the transient is based only on half of the steady state recovery voltage.

$$u_c = U_r \sqrt{\frac{2}{3}} \times k_{pp} \times 1,7 \times \frac{0,15}{2}$$

NOTE 3 The  $K$  factor was derived from transient recovery voltage frequencies obtained by low-voltage current injection of transformers. The frequency is typical of transformers having a current rating close to the test current.

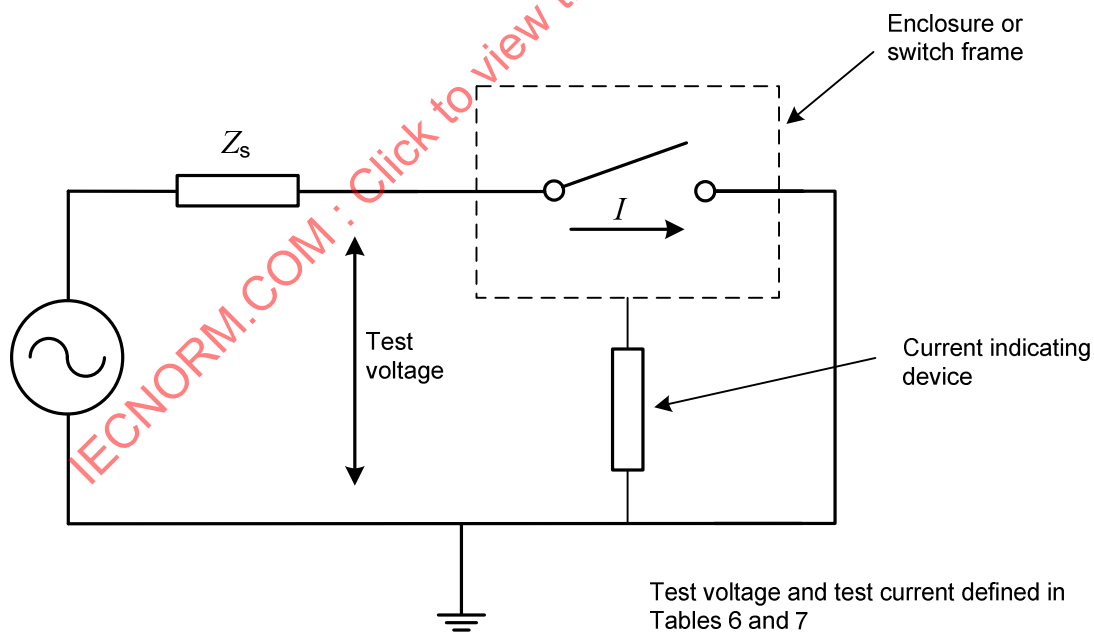
### 6.103.5 Test circuits for short-circuit making tests (test duty 6)

The test circuit for a three-phase test on a three-pole switch shall be as shown in Figure 7. Single-phase tests on three-pole switches operated pole-after-pole, or single-pole switches applied on three-phase systems may use a single-phase test circuit as shown in Figure 8.

**Key**

$Z_s$  Short-circuit impedance of the supply circuit

**Figure 7 – Three-phase test circuit for short circuit making current test for test duty 6**

**Key**

$Z_s$  Short-circuit impedance of the supply circuit

**Figure 8 – Single-phase test circuit for short circuit making current test for test duty 6**

### 6.103.6 Test circuits for breaking tests under earth fault conditions (test duties 7a and 7b)

Tests are required only for switches rated 170 kV and below. It is assumed throughout this standard that the supply neutral is effectively earthed at rated voltages of 245 kV and above, and that therefore an earth fault at these rated voltages will result in a short-circuit current. For systems other than effectively earthed neutral systems at rated voltages of 245 kV and above, tests shall be made upon agreement between the manufacturer and user.

A single-phase capacitive circuit may be used for breaking tests under earth fault conditions.

Earth fault currents and charging currents under earth fault conditions are capacitive currents. The conditions for performing these tests and the nature of the supply circuits and capacitive circuits to be used, therefore, are identical to those required for capacitive circuits as described in 6.105.

## 6.104 Test quantities

### 6.104.1 Test frequency

Switches shall be tested at rated frequency, with a tolerance of  $\pm 10\%$ . However, for convenience of testing, some deviations from the above tolerance are allowable; for example, when switches rated at 50 Hz are tested at 60 Hz and vice versa. Care should be exercised in the interpretation of the results, taking into account all significant facts such as the type of switch and the type of test performed.

NOTE In some cases, the rated characteristics of a switch may be different for use at 60 Hz than for use at 50 Hz.

### 6.104.2 Test voltage for breaking tests

The test voltage for three-phase tests shall be equal to the rated voltage of the switch except as noted for specific test duties. Test voltages are shown in Table 9.

Single-phase tests may be used as an alternative to three-phase tests for three-pole switches if it can be shown that the conditions of 6.102.1 are met. Switches designed so as to permit operation of each pole, irrespective of the state of the other poles, may also be tested single-phase.

**Table 9 – Test duties for three-phase tests on three-pole switches**

| Test duty |                                                  | Rated voltage | Test voltage <sup>1)</sup><br>+10 %<br>0 | Test current<br>+10 %<br>0 |
|-----------|--------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------|----------------------------|
| No.       | Type                                             |               |                                          |                            |
| 1*        | 100 % mainly active load current                 | All           | $U_r$                                    | $I_1$                      |
| 2a*       | Closed loop-transmission circuit current         | <300 kV       | $0,20 U_r$                               | $I_{2a}$                   |
|           |                                                  | $\geq 300$ kV | $0,15 U_r$                               |                            |
| 2b*       | Closed loop-parallel transformer circuit current | All           | $0,15 U_r$                               | $I_{2b}$                   |
| 3*        | 5 % mainly active load current                   | All           | $U_r$                                    | $0,05 \times I_1$          |
| 4a*       | Cable charging current                           | All           | $U_r$                                    | $I_{4a}$                   |
|           |                                                  |               |                                          | $(0,1-0,4) \times I_{4a}$  |
| 4b*       | Line charging current                            | All           | $U_r$                                    | $I_{4b}$                   |
|           |                                                  |               |                                          | $(0,1-0,4) \times I_{4b}$  |
| 4c        | Bus-bar charging current                         | All           | **                                       | **                         |
| 4d        | Single capacitor bank current                    | All           | $U_r$                                    | $I_{4d}$                   |
|           |                                                  |               |                                          | $(0,1-0,4) \times I_{4d}$  |

| Test duty                                                                                                       |                                                    | Rated voltage | Test voltage <sup>1)</sup><br>+10 %<br>0 | Test current<br>+10 %<br>0            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------|---------------------------------------|
| No.                                                                                                             | Type                                               |               |                                          |                                       |
| 4e                                                                                                              | Back-to-back capacitor bank current                | All           | $U_r$                                    | $I_{4e}$<br>$(0,1-0,4) \times I_{4e}$ |
| 5a                                                                                                              | No-load transformer current                        | All           | **                                       | **                                    |
| 5b                                                                                                              | Shunt reactor current <sup>2)</sup>                | All           | $U_r$                                    | $I_{5b}$<br>$(0,1-0,4) \times I_{5b}$ |
| 6*                                                                                                              | Short-circuit making current                       | All           | $U_r$                                    | $I_{ma}$                              |
| 7a                                                                                                              | Earth fault current                                | <245 kV       | $U_r$                                    | $I_{7a}$                              |
| 7b                                                                                                              | Cable and line charging current under earth faults | <245 kV       | $U_r$                                    | $I_{7b}$                              |
| * These test duties are required for a general-purpose switch.                                                  |                                                    |               |                                          |                                       |
| ** By agreement between manufacturer and user.                                                                  |                                                    |               |                                          |                                       |
| 1) TRV parameters are as shown in appropriate table for the first-pole-to-clear.                                |                                                    |               |                                          |                                       |
| 2) If a minimum breaking current is specified, then this specified breaking current is applicable for the test. |                                                    |               |                                          |                                       |

Three-pole switches may be classified into two categories with respect to pole non-simultaneity. Single-phase tests on switches with 0,25 cycle or less non-simultaneity shall be tested in accordance with the values specified in Table 6.

Single-phase tests on switches having a non-simultaneity greater than 0,25 cycle and switches operated pole after pole shall be tested in accordance with the values specified in Table 7.

The peak TRV values for test duty 1 and test duty 3 shall be 1,15 times the values shown in the appropriate tables.

Non-simultaneity shall be measured using values of supply voltage or pressure of the operating device and gas pressure of the interrupter yielding the maximum non-simultaneity.

The test voltage shall be measured immediately after interruption, with the exception of capacitive loads, where the voltage is measured immediately prior to opening of the contacts. The voltage shall be measured as closely as possible to the terminals of the switch, i.e. without appreciable impedance between the measuring point and the terminals. For three-phase tests, the test voltage shall be expressed as the average of the phase-to-phase test voltages. The test voltage between any two phases shall not be different from the average test voltage by more than 10 %.

The power frequency test voltage shall be maintained for at least 0,3 s after interruption, for breaking tests. For capacitive circuit-breaking tests, however, the voltage, including the d.c. component, should be maintained for at least 0,3 s. When this requirement cannot be fulfilled owing to laboratory limits, the provisions in 6.111.5 of IEC 62271-100 shall be applied.

For unit tests, a reduced test voltage shall be chosen so as to impose the proper voltage on a unit of a multi-unit switch.

### 6.104.3 Breaking current

The current to be interrupted shall be symmetrical. This requirement is fulfilled when the d.c. component at contact separation is <20 %. The contacts of the switch shall not be separated until transient currents due to closing of the circuit have subsided.

The breaking current for three-phase tests shall be the rated current for the specific test duty and is measured as the average of the current interrupted in all poles. The difference between

the average current and the values obtained in each pole shall not exceed 10 % of the average value.

The breaking currents for three-phase tests and single-phase tests shall be as shown in Table 9 and Table 6 or Table 7, respectively.

The waveform of the test current, for capacitive circuit-breaking tests, should be sinusoidal. This requirement is satisfied if the ratio of the r.m.s. value of the total current to the r.m.s. value of the fundamental component does not exceed 1,2. The test current shall not go through zero more than once per half cycle of power frequency.

The breaking capacity shall be stated in terms of

- a) the test voltage;
- b) the breaking current;
- c) the circuit power factor;
- d) the test circuit;
- e) the transient recovery voltage parameters;
- f) the number of close-open operating cycles.

#### **6.104.4 Test voltage for short-circuit making tests**

Short-circuit making tests only apply for general-purpose switches. Three-phase tests should preferably be made on three-pole switches at the rated voltage of the switch.

Single-phase tests on a three-pole switch may also be made, provided it can be shown that conditions of 6.102.1 are met. Additionally, it must be shown that the severity of single-phase tests with regard to the mechanical forces produced on each pole and on the operating device are equal to or more severe than those produced during a three-phase test. Test voltages for single-phase tests are shown in Tables 6 and 7.

Laboratory limitations at the higher voltages may be such as to make direct tests at rated voltage and rated current extremely difficult. A synthetic making circuit may be used under these circumstances so as to produce the required test voltage from one supply and the rated making current from a second supply.

For the test demonstrating the making of an asymmetrical fault current, the test may be performed at a reduced voltage without the use of any artificial means for initiating the pre-arcing. It must be shown that reduced voltage tests are not less severe than tests at the proper voltages as indicated in Tables 6, 7 and 9.

For the test demonstrating the making of a symmetrical fault current with the longest pre-arcing time, a reduced applied voltage may also be used under certain conditions. A means shall be provided of causing the initiation of arcing on closing at the same distance as that which would be attained at the proper three-phase or single-phase test voltages. There should be no significant distortion or interruption of the making current during the closing period.

When the pre-arcing is initiated with an alternative method (e.g. by the use of a fuse wire), the pre-arcing distance shall be determined, prior to the making test, by performing 10 making tests at rated voltage and reduced current. The current should be low enough that the contact erosion does not influence the pre-arcing time. Currents ranging from 1 A to 50 A are normally sufficient to determine the pre-arcing distance. The pre-arcing distance should be determined at each test by the use of a travel transducer or an equivalent device. The pre-arcing times measured shall be compiled and an average value together with its standard deviation shall be determined. All making tests performed to evaluate the pre-arcing distance shall result in a current initiation instant corresponding to an angle of 75° to 105° on the applied voltage

waveshape. For three-phase tests, this requirement applies only to one phase only. The distance to be used during the short-circuit making tests shall be determined by using the average pre-arcing time value plus 2 standard deviation as determined with the above method.

#### **6.104.5 Short-circuit making current**

The short-circuit making current shall be expressed in terms of peak making current and the r.m.s. symmetrical making current. For general-purpose switches, the symmetrical r.m.s. value of current in each pole at 0,2 s shall be at least 80 % of the rated short-time withstand current.

The duration of the short-circuit current shall be at least 0,2 s.

The switch shall be able to make the current with pre-strike of the arc occurring at any point on the voltage wave. Two extreme cases are specified as follows:

- a) making at the peak of the voltage wave, leading to a symmetrical short-circuit current and the longest pre-striking arc;
- b) closing at the zero of the voltage wave, without pre-striking, leading to a fully asymmetrical short-circuit current.

The making current must not occur in the same pole.

A general-purpose switch shall be able to operate at voltages below its rated voltage at which it may actually make with a fully asymmetrical current. The lower limit of voltage, if any, shall be stated by the manufacturer.

The short-circuit making current performance shall be stated in terms of

- i. the test voltage;
- ii. the making current expressed as a peak value for asymmetrical making and an r.m.s. value for symmetrical making;
- iii. the short-circuit current duration;
- iv. the test circuit;
- v. the number of making operations.

### **6.105 Capacitive current switching tests**

#### **6.105.1 Applicability**

Capacitive current switching tests are applicable to all switches to which one or more of the following ratings have been assigned and shall be performed according to 6.111 of IEC 62271-100:

- rated line-charging breaking current;
- rated cable-charging breaking current;
- rated single-capacitor bank breaking current;
- rated back-to-back capacitor bank breaking current;
- rated back-to-back capacitor bank inrush making current.

Preferred values of rated capacitive switching currents are given in Table 9 of IEC 62271-100.

NOTE 1 The determination of overvoltages when switching capacitor currents is not covered by this standard.

NOTE 2 An explanatory note on capacitive current switching is given in Clause 1.3 of Annex I of IEC 62271-100.

### 6.105.2 General

Re-ignitions during the capacitive current switching tests are permitted. Two classes of switches are defined according to their restrike performances:

- class C1: low probability of restrike during capacitive current breaking as demonstrated by specific type tests (6.105.10);
- class C2: very low probability of restrike during capacitive current breaking as demonstrated by specific type tests (6.105.9).

NOTE 1 The probability is related to the performance during the series of type tests.

NOTE 2 Phenomena occurring after a restrike or a re-ignition event are not representative of service conditions as the test circuit does not adequately reproduce the post-event voltage conditions.

In laboratory tests the lines and cables may be partly or fully replaced by artificial circuits with lumped elements of capacitors, reactors or resistors.

The test circuit frequency shall be the rated frequency with a tolerance of  $\pm 2\%$ .

NOTE 3 Tests at 60 Hz may be considered to prove the breaking characteristics at 50 Hz.

NOTE 4 Tests at 50 Hz may be considered to prove the characteristics at 60 Hz, provided that the voltage across the switch is not less during the first 8,3 ms than it would be during a test at 60 Hz with the specified voltage. If restrikes occur after 8,3 ms, due to the instantaneous voltage being higher than it would be during a test at 60 Hz with the specified voltage, the test duty should be repeated at 60 Hz.

NOTE 5 The specification of the circuits may be replaced by a specification of the recovery voltage.

### 6.105.3 Characteristics of supply circuits

Subclause 6.111.3 of IEC 62271-100 is applicable.

### 6.105.4 Earthing of the supply circuit

Subclause 6.111.4 of IEC 62271-100 is applicable.

### 6.105.5 Characteristics of the capacitive circuit to be switched

Subclause 6.111.5 of IEC 62271-100 is applicable.

#### 6.105.5.1 Line-charging and cable-charging current switching tests (test duties 4a and 4b)

Subclause 6.111.5.1 of IEC 62271-100 is applicable.

#### 6.105.5.2 Capacitor bank current switching tests (test duties 4d and 4e)

Subclause 6.111.5.2 of IEC 62271-100 is applicable.

### 6.105.6 Waveform of the current

Subclause 6.111.6 of IEC 62271-100 is applicable.

### 6.105.7 Test voltage

Subclause 6.111.7 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition:

It is recommended that only effectively earthed neutral systems and solidly earthed neutral capacitors be considered for rated voltages of 245 kV and above. For lower voltage systems, non-effectively earthed supplies and/or non-effectively earthed capacitor banks are to be expected. The manufacturer shall select the test circuit to be representative of the intended

application. The test voltage shall be equal to the product of  $U_r\sqrt{3}$  and one of the following factors:

- a) 1,0 for tests corresponding to solidly earthed neutral systems without significant mutual influence of adjacent phases of the capacitive circuit; for example, capacitor banks with solidly earthed neutrals;
- b) 1,75 for switches operated pole after pole for tests corresponding to breaking in non-effectively earthed neutral systems or breaking currents of capacitor banks with non-effectively earthed neutrals;
- c) 2,0 for three-pole operated switches for tests corresponding to breaking in non-effectively earthed neutral systems or breaking of currents of capacitor banks with non-effectively earthed neutrals. Lower values may be used by agreement between manufacturer and user depending upon non-simultaneity of the particular switch.

#### **6.105.8 Test current**

Subclause 6.111.8 of IEC 62271-100 is applicable.

#### **6.105.9 Test duties**

The test duties of each test series shall be performed on one specimen without any maintenance. The following abbreviations apply:

- |                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| – line-charging current, test duty 4a1         | LC1 |
| – line-charging current, test duty 4a2         | LC2 |
| – cable-charging current, test duty 4b1        | CC1 |
| – cable-charging current, test duty 4b2        | CC2 |
| – capacitor bank current, test duty 4d1 or 4e1 | BC1 |
| – capacitor bank current, test duty 4d2 or 4e2 | BC2 |

#### **6.105.9.1 Test conditions for class C2 switches**

##### **6.105.9.1.1 Class C2 test duties**

Subclause 6.111.9.1.1 of IEC 62271-100 is applicable with the following change.

Since switches do not have a short-circuit interrupting rating, the preconditioning test with T60 for class C2 switches is not required.

##### **6.105.9.1.2 Three-phase line-charging and cable-charging current switching tests**

Subclause 6.111.9.1.2 of IEC 62271-100 is applicable.

##### **6.105.9.1.3 Single-phase line-charging and cable-charging current switching tests**

Subclause 6.111.9.1.3 of IEC 62271-100 is applicable.

##### **6.105.9.1.4 Three-phase capacitor bank (single or back-to-back) current switching tests**

Subclause 6.111.9.1.4 of IEC 62271-100 is applicable.

##### **6.105.9.1.5 Single-phase capacitor bank (single or back-to-back) current switching tests**

Subclause 6.111.9.1.5 of IEC 62271-100 is applicable.

### **6.105.9.2 Test conditions for class C1 switches**

#### **6.105.9.2.1 Class C1 test duties**

Subclause 6.111.9.2.1 of IEC 62271-100 is applicable.

#### **6.105.9.2.2 Single-phase and three-phase capacitive current switching tests**

Subclause 6.111.9.2.2 of IEC 62271-100 is applicable.

### **6.105.9.3 Test conditions corresponding to breaking in the presence of earth faults**

Subclause 6.111.9.3 of IEC 62271-100 is applicable.

### **6.105.10 Tests with specified TRV**

Subclause 6.111.10 of IEC 62271-100 is applicable.

### **6.105.11 Criteria to pass the test**

Subclause 6.111.11 of IEC 62271-100 is applicable.

## **6.106 Inductive load switching (test duty 5)**

### **6.106.1 No-load transformer circuit (test duty 5a)**

Switching of no-load transformers, i.e. breaking transformer magnetizing current, is not considered in this standard. The reasons for this are as follows:

- a) due to the non-linearity of the transformer core, it is not possible to correctly model the switching of transformer magnetizing current using linear components in a test laboratory. The tests conducted using an available transformer, such as a test transformer, will only be valid for a tested transformer and cannot be representative for other transformers;
- b) as detailed in [2], the characteristics of the duty are usually less severe than any other inductive current switching duty. It should be noted that such a duty may produce severe overvoltages within the transformer winding(s) depending on the switch re-ignition behaviour and transformer winding resonance frequencies.

It is recommended that on-site tests be carried out using the specific transformer to be switched for a given installation. Laboratory tests may be carried out using the same transformer, except that the overvoltage magnitudes during switching will not necessarily be valid.

### **6.106.2 Shunt-reactor current switching tests (test duty 5b)**

Subclause 6.115 of IEC 62271-110 is applicable with the following addition:

The test duties are based on the use of point-on-wave tripping to control contact parting to achieve the different arcing times. If it is not possible to use point on wave control due to the time spread of the operating time of the switch, the following test procedure shall be used.

Test duties 1 and 2 shall consist of 40 random breaking operations each. Test duty 3 is not applicable and test duty 4 shall consist of 20 random breaking operations.

## 6.107 Tests for general-purpose switches

The required tests for a general-purpose switch are given below. Test duties 1 through 5 may be performed in any convenient order. The tests shall be performed without reconditioning of the switch during the test programme.

Make-break operating cycles shall be carried out for test duties 1 through 5. The opening operation shall follow the closing operation with a time delay between the two operations at least sufficient for any transient currents to subside. The breaking currents shall be in accordance with 6.104.3.

The test voltages and currents, and the number of operations for three-phase tests and single-phase tests are given in Tables 9, 6 and 7, respectively. Tests shall be made at the respective rated breaking currents except as specified in Tables 9, 6 and 7.

### *Test duty 1 – 100 % mainly active load*

- Ten make-break operating cycles are required.

### *Test duty 2 – Closed loop*

- Test duty 2a – Transmission circuit – Ten make-break operating cycles are required.
- Test duty 2b – Parallel transformer circuit – Ten make-break operating cycles are required.

NOTE 1 If the TRV parameters achieved in test duty 1 are equal to or more severe than the TRV parameters required for test duty 2a or 2b, then test duty 2a or 2b need not be performed.

### *Test duty 3 – 5 % mainly active load*

Twenty make-break operating cycles are required. Test duty 3 is not required for switches having arc extinguishing properties independent of the magnitude of the current to be interrupted.

### *Test duties 4a and 4b – Cable charging and line charging*

- Subclauses 6.111.9.1.2 and 6.111.9.1.3 of IEC 62271-100 are applicable.

### *Test duty 4c – Bus-charging switching tests*

- Subclause 6.108 of IEC 62271-102 is applicable.

NOTE 2 This test duty is normally required for limited-purpose switches only.

NOTE 3 This switching function is typically performed by disconnectors.

### *Test duty 5a – No-load transformer*

Tests are not normally required for this duty. If tests are required, the number of tests to be performed shall be determined upon agreement between manufacturer and user.

### *Test duty 6 – Short-circuit making*

Short-circuit making tests shall be performed on a switch which has been subjected to at least ten make-break operating cycles at 100 % mainly active load, as required for test duty 1. If it can be demonstrated that the short-circuit making performance cannot be affected by the breaking tests specified, then for convenience, test duty 6 may be performed on a new switch.

Two closing operations are required. The time interval between operations is dependent upon the design features of the switch and the test plant limitations.

Due to pre-arcing, it is not always possible to achieve the required rated short-circuit making current. In this case, evidence shall be given that the making currents attained are representative of the currents which will be achieved upon application of the switch at rated voltage in a circuit wherein the maximum prospective peak current is equal to the rated short-circuit making current.

### 6.108 Tests for limited-purpose switches

The tests specified for general-purpose switches shall be used, deleting those test duties for which the switch is not rated.

### 6.109 Tests for special-purpose switches

Switches having a capability of an increased number of operating cycles, a capacitor bank-breaking current rating, a shunt reactor-breaking current rating, or breaking current ratings under earth fault conditions, shall be tested in accordance with one or more of the following test duties.

#### *Test duty 1 – Increased number of operating cycles for mainly active load*

Special-purpose switches having a capability of an increased number of operating cycles shall be tested according to the specific requirements relating to breaking current and to the number of operations, as agreed between manufacturer and user.

#### *Test duties 4d and 4e – Capacitor banks*

- Subclause 6.111.9 of IEC 62271-100 is applicable.

#### *Test duty 5b – Shunt reactor*

- Subclause 6.115 of IEC 62271-110 is applicable.

#### *Test duty 7a – Earth fault current*

- Ten make-break operating cycles with the rated earth fault breaking current shall be carried out.

#### *Test duty 7b – Cable and line charging current under earth fault conditions*

- Subclause 6.111.9.3 of IEC 62271-100 is applicable. For class C2 switches, 6.105.9.1 applies.

### 6.110 Type test reports

The results of all type tests shall be recorded in type test reports containing sufficient data to prove compliance with this standard. Sufficient information should be included so that the essential parts of the high voltage switch tested can be identified.

The test report shall contain the information specified in 6.103.2, 6.104.2, 6.104.3, 6.104.4 and 6.104.5. Typical oscillographic or similar records should be provided, so that the following can be determined:

- a) the test currents;
- b) the test voltages;
- c) the voltages across the terminals of each pole, so that the power frequency recovery voltages and transient recovery voltages may be determined;
- d) the voltages to earth, so that overvoltages may be determined, if applicable;

e) if applicable, the instant of energizing the trip coil.

General information concerning the supporting structure of the high-voltage switch should be included. Information regarding the operating devices employed during the tests should, where applicable, be recorded.

## **7 Routine tests**

Clause 7 of IEC 62271-1 is applicable with the following exceptions and additions.

### **7.1 Dielectric tests on main circuit**

Subclause 7.1 of IEC 62271-1 is applicable.

NOTE These tests are not required for switch-disconnectors or switches where it can be shown that only atmospheric air is used as the insulating medium across the isolating gap when the switch-disconnector or switch is in the open position.

### **7.2 Tests on auxiliary and control circuits**

Subclause 7.2 of IEC 62271-1 is applicable.

### **7.3 Measurement of the resistance of the main circuit**

Subclause 7.3 of IEC 62271-1 is applicable.

### **7.4 Tightness test**

Subclause 7.4 of IEC 62271-1 is applicable.

### **7.5 Design and visual checks**

Subclause 7.5 of IEC 62271-1 is applicable.

#### **7.101 Mechanical operating tests**

Operating tests are made to ensure that switches comply with the prescribed performance within the specified supply voltage and pressure limits of their operating devices.

During these tests, which are performed without voltage on, or current in, the main circuit, it shall be verified, in particular, that the switches open and close correctly when their operating devices are energized or under pressure. It shall also be verified that operation will not cause any damage to the switches.

The arrangement of the switch for testing shall comply with the specifications for the mechanical endurance tests, 6.101.1.

A switch having a power-operating device shall be subjected to the following tests:

- at specified maximum supply voltage and/or maximum pressure of compressed gas supply: five operating cycles;
- at specified minimum supply voltage and/or minimum pressure of compressed gas supply: five operating cycles.

A manually operated switch, or a power-operated switch capable of manual operation, shall be subjected to the following test:

- ten operating cycles. Routine tests on a complete switch may be made on site. During these tests, no adjustments shall be made and the operation shall be faultless. The closed and open positions shall be attained during each operating cycle.

## **8 Guide to the selection of high-voltage switches**

### **8.1 Selection of rated values**

Subclause 8.1 of IEC 62271-1 is applicable.

### **8.2 Continuous or temporary overload due to changed service conditions**

Subclause 8.2 of IEC 62271-1 is applicable.

#### **8.101 General**

This guide presents suggestions on application as an aid to obtaining satisfactory performance of high-voltage switches rated at 52 kV and above.

It is offered in recognition of the continuing need for general guidelines to supplement, but not replace, the manufacturer's detailed instructions.

Refer to 2.1 of IEC 62271-1 for normal service condition requirements.

#### **8.102 Conditions affecting application**

Where unusual conditions exist, they should be brought to the attention of the manufacturer for his recommendations. Examples of such conditions are as follows:

- a) contamination such as damaging fumes or vapour, excessive or abrasive dust, explosive mixtures of dust or gases, salt spray, excessive moisture or dripping water, etc.;
- b) abnormal vibration, shocks, tilting, or seismic activity;
- c) excessively high or low ambient temperatures;
- d) unusual transportation or storage conditions;
- e) unusual space limitations;
- f) mounting positions other than those recommended by the manufacturer;
- g) high altitude;
- h) wind velocity in excess of manufacturer's recommendations;
- i) unusual operating duty, frequency of operation, difficulty of maintenance, unbalanced voltages, special insulation requirements, etc.;
- j) a condition of resonance when switching a capacitor or transformer;
- k) for use at other than rated frequency, such as harmonics associated with filter banks, capacitor bank, and rectifier circuits. The normal current rating of the switch should be such as to adequately carry the power frequency current and the harmonic currents.

#### **8.103 Insulation coordination**

The rated insulation level of a switch shall be selected according to 4.2 of IEC 62271-1.

Refer to IEC 60071 for a general discussion and recommendations on insulation coordination.

## **9 Information to be given with enquiries, tenders and orders**

### **9.1 Information with enquiries and orders**

Subclause 9.1 of IEC 62271-1 is applicable.

### **9.2 Information with tenders**

Subclause 9.2 of IEC 62271-1 is applicable.

## **10 Transport, storage, installation, operation and maintenance**

Clause 10 of IEC 62271-1 is applicable.

## **11 Safety**

Clause 11 of IEC 62271-1 is applicable.

## **12 Influence of the high-voltage switch on the environment**

Clause 12 of IEC 62271-1 is applicable.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271 104:2009

## **Bibliography**

- [1] IEC 60137, *Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 V*
  - [2] CIGRE Technical Brochure 305: Guide for application of IEC 62271-100 and IEC 62271-1. Part 2: making and breaking tests (2006)
- 

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271 104:2009

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271 104:2009

## SOMMAIRE

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT PROPOS .....                                                                                                                            | 54 |
| 1 Généralités.....                                                                                                                            | 56 |
| 1.1 Domaine d'application.....                                                                                                                | 56 |
| 1.2 Références normatives .....                                                                                                               | 57 |
| 2 Conditions normales et spéciales de service .....                                                                                           | 57 |
| 3 Termes et définitions .....                                                                                                                 | 57 |
| 3.1 Termes généraux.....                                                                                                                      | 57 |
| 3.2 Ensembles.....                                                                                                                            | 57 |
| 3.3 Parties d'ensembles .....                                                                                                                 | 57 |
| 3.4 Appareils de connexion .....                                                                                                              | 58 |
| 3.5 Parties de l'interrupteur .....                                                                                                           | 59 |
| 3.6 Fonctionnement.....                                                                                                                       | 59 |
| 3.7 Grandeurs caractéristiques.....                                                                                                           | 59 |
| 4 Caractéristiques assignées.....                                                                                                             | 61 |
| 4.1 Tension assignée ( $U_r$ ).....                                                                                                           | 61 |
| 4.2 Niveau d'isolement assigné .....                                                                                                          | 61 |
| 4.3 Fréquence assignée ( $f_r$ ).....                                                                                                         | 61 |
| 4.4 Courant assigné en service continu et échauffement ( $I_r$ ).....                                                                         | 61 |
| 4.5 Courant de courte durée admissible assigné ( $I_k$ ) .....                                                                                | 61 |
| 4.6 Valeur de crête du courant admissible assigné ( $I_p$ ).....                                                                              | 61 |
| 4.7 Durée assignée de court-circuit ( $t_k$ ) .....                                                                                           | 61 |
| 4.8 Tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture<br>et des circuits auxiliaires et de commande ( $U_a$ ) ..... | 61 |
| 4.9 Fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et<br>d'ouverture et des circuits auxiliaires .....                        | 62 |
| 4.10 Pression assignée d'alimentation en gaz comprimé pour les systèmes à<br>pression entretenue .....                                        | 62 |
| 4.11 Niveaux assignés de remplissage pour l'isolement et/ou la manœuvre .....                                                                 | 62 |
| 4.101 Pouvoir de coupure assigné en cas de défaut à la terre .....                                                                            | 62 |
| 4.102 Pouvoir de fermeture assigné en court-circuit .....                                                                                     | 62 |
| 4.103 Pouvoir de coupure assigné de charge principalement active .....                                                                        | 62 |
| 4.104 Pouvoir de coupure assigné de boucle fermée.....                                                                                        | 62 |
| 4.105 Pouvoir de coupure et pouvoir de fermeture assignés de courants<br>capacitifs .....                                                     | 62 |
| 4.106 Manœuvre de charges inductives .....                                                                                                    | 63 |
| 4.107 Efforts mécaniques assignés sur les bornes .....                                                                                        | 64 |
| 4.108 Coordination des valeurs assignées pour interrupteur d'usage général .....                                                              | 64 |
| 4.109 Coordination des valeurs assignées pour interrupteurs d'usage limité ou<br>d'usage spécial.....                                         | 65 |
| 5 Conception et construction .....                                                                                                            | 65 |
| 5.1 Exigences pour les liquides utilisés dans les interrupteurs à haute tension .....                                                         | 65 |
| 5.2 Exigences pour les gaz utilisés dans les interrupteurs à haute tension .....                                                              | 65 |
| 5.3 Raccordement à la terre des interrupteurs à haute tension .....                                                                           | 65 |
| 5.4 Equipements auxiliaires .....                                                                                                             | 65 |
| 5.5 Manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure.....                                                                                    | 65 |
| 5.6 Manœuvre à accumulation d'énergie .....                                                                                                   | 65 |

|       |                                                                                                                                               |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.7   | Manœuvre indépendante manuelle ou manœuvre indépendante à source d'énergie extérieure [manœuvre indépendante sans accrochage mécanique] ..... | 65 |
| 5.8   | Fonctionnement des déclencheurs .....                                                                                                         | 65 |
| 5.9   | Dispositifs de verrouillage et de surveillance basse et haute pression .....                                                                  | 65 |
| 5.10  | Plaques signalétiques .....                                                                                                                   | 65 |
| 5.11  | Dispositifs de verrouillage .....                                                                                                             | 67 |
| 5.12  | Indicateur de position .....                                                                                                                  | 67 |
| 5.13  | Degrés de protection assurés par les enveloppes .....                                                                                         | 67 |
| 5.14  | Lignes de fuite pour les isolateurs d'extérieur .....                                                                                         | 67 |
| 5.15  | Étanchéité au gaz et au vide .....                                                                                                            | 67 |
| 5.16  | Étanchéité au liquide .....                                                                                                                   | 67 |
| 5.17  | Risque de feu (inflammabilité) .....                                                                                                          | 67 |
| 5.18  | Compatibilité électromagnétique (CEM) .....                                                                                                   | 67 |
| 5.19  | Emission de rayons X .....                                                                                                                    | 67 |
| 5.20  | Corrosion .....                                                                                                                               | 68 |
| 5.101 | Mécanisme de fermeture .....                                                                                                                  | 68 |
| 5.102 | Résistance mécanique .....                                                                                                                    | 68 |
| 5.103 | Position des contacts mobiles et de leurs dispositifs indicateurs ou de signalisation .....                                                   | 68 |
| 6     | Essais de type .....                                                                                                                          | 69 |
| 6.1   | Généralités .....                                                                                                                             | 69 |
| 6.2   | Essais diélectriques .....                                                                                                                    | 70 |
| 6.3   | Essais de tension de perturbation radioélectrique .....                                                                                       | 70 |
| 6.4   | Mesurage de la résistance des circuits .....                                                                                                  | 70 |
| 6.5   | Essais d'échauffement .....                                                                                                                   | 70 |
| 6.6   | Essais au courant de courte durée et à la valeur de crête du courant admissibles .....                                                        | 70 |
| 6.7   | Vérification de la protection .....                                                                                                           | 70 |
| 6.8   | Essais d'étanchéité .....                                                                                                                     | 70 |
| 6.9   | Essais de compatibilité électromagnétique (CEM) .....                                                                                         | 71 |
| 6.10  | Essais complémentaires sur les circuits auxiliaires et de commande .....                                                                      | 71 |
| 6.11  | Procédure d'essai des rayonnements X pour les ampoules à vide .....                                                                           | 71 |
| 6.101 | Essais de fonctionnement mécanique .....                                                                                                      | 71 |
| 6.102 | Dispositions diverses pour les essais d'établissement et de coupure .....                                                                     | 73 |
| 6.103 | Circuits d'essais pour les essais d'établissement et de coupure .....                                                                         | 76 |
| 6.104 | Grandeurs d'essais .....                                                                                                                      | 86 |
| 6.105 | Essais de coupure du courant capacitifs .....                                                                                                 | 90 |
| 6.106 | Manœuvres de charges inductives (séquence d'essais 5) .....                                                                                   | 93 |
| 6.107 | Essais pour les interrupteurs d'usage général .....                                                                                           | 93 |
| 6.108 | Essais pour les interrupteurs à usage limité .....                                                                                            | 95 |
| 6.109 | Essais pour les interrupteurs à usage spécial .....                                                                                           | 95 |
| 6.110 | Rapports d'essais de type .....                                                                                                               | 95 |
| 7     | Essais individuels de série .....                                                                                                             | 96 |
| 7.1   | Essais diélectriques du circuit principal .....                                                                                               | 96 |
| 7.2   | Essais des circuits auxiliaires et de commande .....                                                                                          | 96 |
| 7.3   | Mesurage de la résistance du circuit principal .....                                                                                          | 96 |
| 7.4   | Essai d'étanchéité .....                                                                                                                      | 96 |

|       |                                                                                         |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.5   | Contrôles visuels et du modèle .....                                                    | 96 |
| 7.101 | Essais de fonctionnement mécanique .....                                                | 96 |
| 8     | Guide pour le choix des interrupteurs à haute tension .....                             | 97 |
| 8.1   | Choix des valeurs assignées .....                                                       | 97 |
| 8.2   | Surcharge continue ou temporaire due à une modification des conditions de service ..... | 97 |
| 8.101 | Généralités .....                                                                       | 97 |
| 8.102 | Conditions influant sur l'application .....                                             | 97 |
| 8.103 | Coordination de l'isolement .....                                                       | 97 |
| 9     | Informations à joindre aux appels d'offres, aux soumissions et aux commandes .....      | 98 |
| 9.1   | Renseignements à donner dans les appels d'offres et les commandes .....                 | 98 |
| 9.2   | Renseignements à joindre aux soumissions .....                                          | 98 |
| 10    | Transport, stockage, installation, manœuvre et maintenance .....                        | 98 |
| 11    | Sécurité .....                                                                          | 98 |
| 12    | Influence de l'interrupteur à haute tension sur l'environnement .....                   | 98 |
|       | Bibliographie .....                                                                     | 99 |

Figure 1 – Circuit d'essai monophasé pour les essais d'établissement et de coupure de courants de charge principalement active, séquences d'essais 1 et 3 ..... 76

Figure 2 – Circuit d'essai monophasé pour les essais d'établissement et de coupure de courants de boucle fermée de lignes de transport et de transformateurs en parallèle, séquences d'essais 2a et 2b ..... 77

Figure 3 – Circuit d'essai triphasé pour les essais d'établissement et de coupure de courants de charge principalement active, séquences d'essais 1 et 3 ..... 78

Figure 4 – Tension transitoire côté alimentation et côté charge pour les essais de coupure de courant de charge principalement active (voir Tableau 4) ..... 79

Figure 5 – Circuit d'essai triphasé pour les essais d'établissement et de coupure de courants de boucle fermée de lignes de transport et de transformateurs en parallèle, séquences d'essais 2a et 2b ..... 80

Figure 6 – Illustration de la tension transitoire associée aux essais de coupure de courant de boucle fermée de lignes de transport (voir Tableau 5) ..... 82

Figure 7 – Circuit d'essai triphasé pour les essais d'établissement de courants de court-circuit, séquence d'essais 6 ..... 85

Figure 8 – Circuit d'essai monophasé pour les essais d'établissement de courants de court-circuit, séquence d'essais 6 ..... 85

Tableau 1 – Valeur préférentielles de pouvoir de coupure assigné de lignes à vide et de pouvoir de coupure de câbles à vide pour interrupteur d'usage général ..... 64

Tableau 2 – Renseignements pour la plaque signalétique ..... 66

Tableau 3 – Essais de type ..... 69

Tableau 4 – Paramètres de TTR du circuit d'alimentation pour les essais de coupure de courant de charge principalement active ..... 79

Tableau 5 – Paramètres de TTR pour les essais de coupure de courant de boucle fermée de lignes de transport ..... 81

Tableau 6 – Séquences d'essai pour essais en monophasé des interrupteurs tripolaires dont la non-simultanéité entre pôles est inférieure ou égale à 0,25 période ..... 82

Tableau 7 – Séquences d'essais pour les essais en monophasé des interrupteurs tripolaires dont la non-simultanéité entre pôles est supérieure à 0,25 période et pour les interrupteurs manœuvrés pôle après pôle ..... 83

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 8 – Paramètres TTR pour les essais de coupure de courant de transformateurs en parallèle ..... | 84 |
| Tableau 9 – Séquences d'essais pour les essais en triphasé des interrupteurs tripolaires .....         | 87 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271 104:2009

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

**Partie 104: Interrupteurs à courant alternatif pour tensions assignées égales ou supérieures à 52 kV**

## AVANT PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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»). Tout comité national de la CEI intéressé par le sujet traité peut prendre part à ces travaux préliminaires. Des organismes internationaux, gouvernementaux ou non gouvernementaux, opérant en relation avec la CEI participent également à cette élaboration. 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 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'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62271-104 a été établie par le sous-comité 17A: Appareillage à haute tension, du comité d'études 17 de la CEI: Appareillage.

Cette norme annule et remplace la CEI 60265-2 (1988).

Les modifications techniques majeures par rapport à la CEI 60265-2 sont les suivantes :

- alignement avec les CEI 62271-1 et CEI 62271-100 ;
- les exigences pour l'établissement et la coupure de courants capacitifs sont alignées avec celles de la CEI 62271-100 : les classes C1 et C2 sont introduites.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS         | Rapport de vote |
|--------------|-----------------|
| 17A/857/FDIS | 17A/865/RVD     |

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

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

Cette norme doit être lue conjointement avec la CEI 62271-1 (2007), la CEI 62271-100, la CEI 62271-102 (2001) et la CEI 62271-110 (2005). Pour faciliter le repérage des exigences équivalentes, cette norme utilise un numérotage des articles et des paragraphes identique à celui de la CEI 62271-1. Les modifications de ces articles et de ces paragraphes sont indiquées sous la même numérotation, et les paragraphes additionnels sont numérotés à partir de 101.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 62271, présentée sous le titre général *Appareillage à haute tension*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

## APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

### Partie 104: Interrupteurs à courant alternatif pour tensions assignées égales ou supérieures à 52 kV

#### 1 Généralités

##### 1.1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62271 est applicable aux interrupteurs à courant alternatif triphasé de tension assignée égale ou supérieure à 52 kV, ayant des pouvoirs de coupure et de fermeture assignés, prévus pour les installations à l'intérieur et à l'extérieur, et de fréquence assignée inférieure ou égale à 60 Hz.

Cette norme est également applicable aux dispositifs de manœuvre de ces interrupteurs et à leurs équipements auxiliaires.

NOTE 1 Les interrupteurs pour appareillage à isolation gazeuse sont couverts par la présente norme.

NOTE 2 Les interrupteurs ayant une fonction de sectionnement et appelés interrupteurs-sectionneurs sont aussi couverts par la CEI 62271-102.

NOTE 3 Les sectionneurs de terre ne sont pas couverts par la présente norme. Les sectionneurs de terre faisant partie intégrante d'un interrupteur sont couverts par la CEI 62271-102.

L'objet principal de cette norme est d'établir des exigences pour les interrupteurs utilisés dans des réseaux de transport et de distribution d'énergie. Les interrupteurs d'usage général prévus pour cette application sont conçus pour satisfaire aux conditions de service suivantes:

- supporter en permanence leur courant assigné en service continu;
- supporter les courants de court-circuit pendant une durée spécifiée;
- établir et couper les courants de charge principalement active;
- établir et couper les courants de transformateurs à vide;
- établir et couper les courants de charge de câbles, de lignes aériennes ou de barres omnibus à vide;
- établir et couper les courants de boucles fermées;
- établir les courants de court-circuit.

Un autre objet de cette norme est d'établir des exigences pour les interrupteurs d'usage limité et les interrupteurs d'usage spécial utilisés dans des réseaux de transport et de distribution.

Les interrupteurs d'usage limité doivent satisfaire à une ou plusieurs des conditions de service précédentes.

Les interrupteurs d'usage spécial peuvent satisfaire à une ou plusieurs de ces mêmes conditions de service et doivent, en outre, convenir pour une ou plusieurs des applications suivantes:

- manœuvre de batteries uniques de condensateurs;
- manœuvre de batteries de condensateurs à gradins;
- manœuvre de bobines d'inductance, y compris les bobines alimentées par le secondaire ou le tertiaire d'un transformateur intermédiaire;
- applications nécessitant un nombre accru de manœuvres;

- manœuvres en présence de défaut à la terre dans les réseaux à neutre isolé ou compensés par bobine d'extinction.

## 1.2 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 60050(441):1984, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

CEI 60059, *Caractéristiques des courants normaux de la CEI*

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

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

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

IEC 62271-1:2007, *Appareillage à haute tension – Partie 1: Spécifications communes*

CEI 62271-100: *Appareillage à haute tension – Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif*

CEI 62271-101, *Appareillage à haute tension – Partie 101: Essais synthétiques*

CEI 62271-102:2001, *Appareillage à haute tension – Partie 102: Sectionneurs et sectionneurs de terre à courant alternatif*

CEI 62271-110:2005, *Appareillage à haute tension – Partie 110: Manœuvre de charges inductives*

## 2 Conditions normales et spéciales de service

L'Article 2 de la CEI 62271-1 est applicable.

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions des termes généraux sont basées sur les CEI 60050-441 et 60071-1.

Les termes et définitions additionnels sont basés uniquement sur la CEI 60050-441.

### 3.1 Termes généraux

Pas de définition particulière.

### 3.2 Ensembles

Pas de définition particulière.

### 3.3 Parties d'ensembles

Pas de définition particulière.

### 3.4 Appareils de connexion

#### 3.4.101

##### **interrupteur**

appareil de connexion capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, y compris éventuellement les conditions spécifiées de surcharge en service, ainsi que de supporter pendant une durée spécifiée des courants dans des conditions anormales spécifiées du circuit, telles que celles du court-circuit

[VEI 441-14-10]

#### 3.4.102

##### **interrupteur-sectionneur**

interrupteur qui, dans sa position d'ouverture, satisfait aux exigences d'isolement spécifiées pour un sectionneur

[VEI 441-14-12]

#### 3.4.103

##### **interrupteur d'usage général**

interrupteur capable d'effectuer, jusqu'à des courants atteignant ses pouvoirs de coupure assignés, toutes les manœuvres d'établissement et de coupure qui peuvent normalement survenir; et capable de supporter et d'établir des courants de court-circuit

NOTE Pour les caractéristiques assignées propres aux interrupteurs d'usage général, se reporter à 4.108.

#### 3.4.104

##### **interrupteur d'usage limité**

interrupteur qui répond à une ou plusieurs des conditions de service des interrupteurs d'usage général sans répondre à la totalité de ces conditions

#### 3.4.105

##### **interrupteur d'usage spécial**

interrupteur apte à manœuvrer dans des conditions différant des conditions spécifiées pour un interrupteur d'usage général

NOTE A titre d'exemples de telles exigences, on peut citer la manœuvre d'une batterie de condensateurs, la manœuvre d'une bobine d'inductance shunt, la manœuvre en cas de défaut à la terre, et un nombre accru de cycles de manœuvres.

#### 3.4.106

##### **interrupteur de classe C1**

interrupteur d'usage spécial à faible probabilité de réamorçage pendant la coupure de courant capacitif comme démontré par les essais de type spécifiques

#### 3.4.107

##### **interrupteur de classe C2**

interrupteur d'usage spécial à très faible probabilité de réamorçage pendant la coupure de courant capacitif comme démontré par les essais de type spécifiques

#### 3.4.108

##### **interrupteur de batterie unique de condensateurs**

interrupteur d'usage spécial apte à la manœuvre d'une batterie unique de condensateurs dont le courant de charge ne dépasse pas son pouvoir de coupure assigné de batterie unique

#### 3.4.109

##### **manœuvre de batteries de condensateurs à gradins**

interrupteur d'usage spécial apte à la manœuvre d'une batterie de condensateurs dont le courant de charge ne dépasse pas son pouvoir de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins, une ou plusieurs batteries de condensateurs étant reliées au côté source ou barres de l'interrupteur. L'interrupteur doit être capable d'établir le courant d'appel

correspondant, sans dépassement de son pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs.

### 3.4.110

#### **interrupteur de bobine d'inductance shunt**

interrupteur d'usage spécial apte à la manœuvre d'une bobine d'inductance shunt y compris lorsque la bobine est alimentée par le secondaire ou le tertiaire d'un transformateur intermédiaire

### 3.5 Parties de l'interrupteur

Pas de définition particulière.

### 3.6 Fonctionnement

Pas de définition particulière.

### 3.7 Grandeurs caractéristiques

#### 3.7.101

##### **pouvoir de coupure** (d'un appareil de connexion ou d'un fusible)

une valeur de courant présumé qu'un appareil de connexion ou un fusible est capable d'interrompre sous une tension fixée dans des conditions prescrites d'emploi et de comportement

NOTE 1 La tension à fixer et les conditions à prescrire sont précisées dans les publications particulières.

NOTE 2 Pour les appareils de connexion, le pouvoir de coupure peut être dénommé suivant le type de courant intervenant dans les conditions prescrites, par exemple: pouvoir de coupure de lignes à vide, pouvoir de coupure de câbles à vide, pouvoir de coupure d'une batterie de condensateurs unique, etc.

[VEI 441-17-08]

#### 3.7.102

##### **pouvoir de coupure de charge principalement active**

pouvoir de coupure lors de l'ouverture d'un circuit de charge principalement active, la charge pouvant être représentée par des résistances et des inductances en parallèle

#### 3.7.103

##### **pouvoir de coupure de transformateur à vide**

pouvoir de coupure lors de l'ouverture d'un circuit de transformateur fonctionnant à vide

#### 3.7.104

##### **pouvoir de coupure de boucle fermée**

pouvoir de coupure lors de l'ouverture d'un circuit de lignes en boucle fermée ou du circuit d'un transformateur en parallèle avec un ou plusieurs autres transformateurs, c'est-à-dire d'un circuit dans lequel les deux bornes de l'interrupteur restent sous tension après l'interruption, la différence de tension apparaissant entre elles étant très inférieure à la tension du réseau

#### 3.7.105

##### **pouvoir de coupure de câbles à vide**

pouvoir de coupure lors de l'ouverture d'un circuit de câbles fonctionnant à vide

#### 3.7.106

##### **pouvoir de coupure de lignes à vide**

pouvoir de coupure lors de l'ouverture d'un circuit de lignes aériennes fonctionnant à vide

### 3.7.107

#### **pouvoir de coupure de barres omnibus à vide**

pouvoir de coupure lors de l'ouverture d'un circuit de barres omnibus fonctionnant à vide

### 3.7.108

#### **pouvoir de coupure de batterie unique de condensateurs**

pouvoir de coupure lors de l'ouverture d'un circuit de batterie unique de condensateurs alimenté par une source qui ne comporte pas d'autre batterie de condensateurs à côté de la batterie à isoler

### 3.7.109

#### **pouvoir de coupure de batteries de condensateurs à gradins**

pouvoir de coupure lors de l'ouverture d'un circuit de batteries de condensateurs alimenté par une source comportant une ou plusieurs batteries de condensateurs à côté de la batterie à isoler

### 3.7.110

#### **courant d'appel de batteries de condensateurs**

courant à grande amplitude et à haute fréquence survenant lors de la fermeture d'un circuit de batteries de condensateurs sur une source comportant une ou plusieurs batteries de condensateurs à côté de la batterie à mettre sous tension

NOTE La fréquence et l'amplitude du courant d'appel dépendent des valeurs des capacités et des valeurs des inductances entre les batteries de condensateurs.

### 3.7.111

#### **pouvoir de coupure de bobine d'inductance shunt**

pouvoir de coupure lors de l'ouverture d'un circuit comportant une bobine d'inductance shunt, y compris lorsque la bobine est alimentée par le secondaire ou le tertiaire d'un transformateur intermédiaire

### 3.7.112

#### **pouvoir de coupure en cas de défaut à la terre**

pouvoir de coupure dans la phase en défaut d'un réseau à neutre isolé ou compensé par bobine d'extinction lors de l'élimination d'un défaut à la terre sur une ligne aérienne ou sur un câble à vide en aval de l'interrupteur

### 3.7.113

#### **pouvoir de coupure de câbles ou de lignes à vide en cas de défaut à la terre**

pouvoir de coupure dans les phases restées saines d'un réseau à neutre effectivement à la terre ou non effectivement à la terre lors de la coupure d'un câble à vide ou d'une ligne aérienne à vide, un défaut à la terre existant en amont de l'interrupteur

### 3.7.114

#### **courant coupé (d'un appareil de connexion ou d'un fusible)**

courant dans un pôle d'un appareil de connexion ou dans un fusible évalué à l'instant de l'amorçage de l'arc au cours d'une coupure

[441-17-07]

### 3.7.115

#### **(valeur de crête du) courant établi**

valeur de crête de la première grande alternance du courant dans un pôle d'un interrupteur pendant la période transitoire qui suit l'instant d'établissement au cours d'une manœuvre d'établissement

NOTE 1 La valeur de crête peut être différente d'un pôle à l'autre et d'une manœuvre à l'autre car elle dépend de l'instant d'établissement du courant par rapport à l'onde de la tension appliquée.

NOTE 2 Lorsqu'une seule valeur (de crête) du courant établi est indiquée pour un circuit polyphasé, il s'agit de la plus grande valeur dans n'importe quelle phase, sauf indication contraire.

### 3.7.116

#### **pouvoir de fermeture en court-circuit**

pouvoir de fermeture pour lequel les conditions prescrites comprennent un court-circuit aux bornes de l'appareil de connexion

[441-17-10]

### 3.7.117

#### **simultanéité entre pôles**

maximum entre l'instant d'entrée en contact du premier pôle et du dernier pôle à la fermeture et différence maximum entre les instants de séparation des contacts du premier pôle et du dernier pôle à l'ouverture

## **4 Caractéristiques assignées<sup>1</sup>**

L'Article 4 de la CEI 62271-1 est applicable avec les ajouts indiqués ci-dessous.

### **4.1 Tension assignée ( $U_r$ )**

Le paragraphe 4.1 de la CEI 62271-1 est applicable.

### **4.2 Niveau d'isolement assigné**

Le paragraphe 4.2 de la CEI 62271-1 est applicable.

### **4.3 Fréquence assignée ( $f_r$ )**

Le paragraphe 4.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

### **4.4 Courant assigné en service continu et échauffement ( $I_r$ )**

Le paragraphe 4.4 de la CEI 62271-1 est applicable.

### **4.5 Courant de courte durée admissible assigné ( $I_k$ )**

Le paragraphe 4.5 de la CEI 62271-1 est applicable.

### **4.6 Valeur de crête du courant admissible assigné ( $I_p$ )**

Le paragraphe 4.6 de la CEI 62271-1 est applicable.

### **4.7 Durée assignée de court-circuit ( $t_k$ )**

Le paragraphe 4.7 de la CEI 62271-1 est applicable.

### **4.8 Tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de commande ( $U_a$ )**

Le paragraphe 4.8 de la CEI 62271-1 est applicable.

<sup>1</sup> Note relatives aux valeurs assignées:

En Anglais, les termes "*rated making current*" (courant d'établissement assigné) et "*rated breaking current*" (courant coupé assigné) sont utilisés là où précédemment étaient utilisés "*rated making capacity*" (pouvoir de fermeture assigné) et "*rated breaking capacity*" (pouvoir de coupure assigné), la signification prévue étant traduite de manière appropriée par l'utilisation de "*rated*" (assigné). En français, les termes "*pouvoir de fermeture assigné*" et "*pouvoir de coupure assigné*" continuent d'être utilisés.

#### **4.9 Fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires**

Le paragraphe 4.9 de la CEI 62271-1 est applicable.

#### **4.10 Pression assignée d'alimentation en gaz comprimé pour les systèmes à pression entretenue**

Le paragraphe 4.10 de la CEI 62271-1 est applicable.

#### **4.11 Niveaux assignés de remplissage pour l'isolement et/ou la manœuvre**

Le paragraphe 4.11 de la CEI 62271-1 est applicable.

#### **4.101 Pouvoir de coupure assigné en cas de défaut à la terre**

Le pouvoir de coupure assigné en cas de défaut à la terre, pour un réseau à neutre non effectivement à la terre, est le courant maximal de défaut à la terre que l'interrupteur doit être capable de couper dans la phase en défaut sous sa tension assignée.

NOTE La TTR (tension transitoire de rétablissement) d'un réseau à neutre isolé est plus sévère que la TTR d'un réseau compensé par bobine d'extinction, même s'il est désaccordé.

#### **4.102 Pouvoir de fermeture assigné en court-circuit**

Le pouvoir de fermeture assigné en court-circuit est la valeur de crête du courant présumé maximal que l'interrupteur doit être capable d'établir sous sa tension assignée.

#### **4.103 Pouvoir de coupure assigné de charge principalement active**

Le pouvoir de coupure assigné de charge principalement active est le courant maximal de charge principalement active que l'interrupteur doit être capable de couper sous sa tension assignée.

#### **4.104 Pouvoir de coupure assigné de boucle fermée**

Le pouvoir de coupure assigné de boucle fermée est le courant maximal de boucle fermée que l'interrupteur doit être capable de couper. On peut assigner des valeurs différentes pour le pouvoir de coupure de boucle de lignes et pour le pouvoir de coupure de transformateurs en parallèle.

#### **4.105 Pouvoir de coupure et pouvoir de fermeture assignés de courants capacitifs**

##### **4.105.1 Pouvoir de coupure assigné de lignes à vide**

Le pouvoir de coupure assigné de lignes à vide est le courant maximal de lignes à vide que l'interrupteur doit être capable de couper sous sa tension assignée.

##### **4.105.2 Pouvoir de coupure assigné de câbles à vide**

Le pouvoir de coupure assigné de câbles à vide est le courant maximal de câbles à vide que l'interrupteur doit être capable de couper sous sa tension assignée.

#### **4.105.3 Pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs**

Le pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs est le courant maximal de batterie unique de condensateurs que l'interrupteur doit être capable de couper sous sa tension assignée dans les conditions d'utilisation et de fonctionnement exigées dans cette norme. Ce pouvoir de coupure se rapporte à la coupure de batteries de condensateurs shunt lorsqu'il n'y a pas de condensateur shunt connecté sur le côté source de l'interrupteur.

#### **4.105.4 Pouvoir de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins**

Le pouvoir de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins est le courant maximal de batteries de condensateurs que l'interrupteur doit être capable de couper sous sa tension assignée, avec une ou plusieurs batteries de condensateurs reliées au côté source de l'interrupteur à côté de la batteries à isoler, telles que le courant d'appel soit égal au pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs de l'interrupteur.

Ce pouvoir de coupure se rapporte à la manœuvre d'une batterie de condensateurs shunt lorsqu'une ou plusieurs batteries de condensateurs sont connectées du côté source de l'interrupteur, fournissant un courant d'appel établi égal au pouvoir de fermeture assigné de batterie de condensateurs à gradins.

NOTE Des conditions similaires sont, en principe, applicables à la coupure des câbles.

#### **4.105.5 Pouvoir de fermeture de batterie unique de condensateurs**

Aucune caractéristique assignée ni valeur préférentielle n'est définie. Cela est dû au fait que les courants d'appel associés aux batteries uniques de condensateurs ne sont pas considérés comme critiques.

#### **4.105.6 Pouvoir de fermeture assigné de batterie de condensateurs à gradins**

Le pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins est la valeur de crête du courant que l'interrupteur doit être capable d'établir sous sa tension assignée et avec une fréquence du courant d'appel appropriée aux conditions de service (voir Tableau 9 de la CEI 62271-100).

NOTE Les performances relatives à la fermeture des batteries de condensateurs à gradins sont acquises lorsque

- la valeur de crête du pouvoir de fermeture en essai est égale ou supérieure à la valeur assignée, et
- lorsque la fréquence du courant d'appel en essai est supérieure ou égale à 77 % de la valeur assignée. L'applicabilité de cette règle est limitée aux fréquences inférieures à 6 000 Hz.

#### **4.105.7 Pouvoir de coupure assigné de câbles ou de lignes à vide en cas de défaut à la terre**

Le pouvoir de coupure assigné de câbles ou de lignes à vide en cas de défaut à la terre est le courant maximal des phases restées saines d'un réseau à neutre non effectivement à la terre que l'interrupteur doit être capable de couper sous sa tension assignée.

NOTE Le courant maximal de câbles ou de lignes à vide en cas de défaut à la terre est  $\sqrt{3}$  fois le courant normal de câbles ou de lignes à vide. Cela couvre le cas le plus sévère, qui se produit avec les câbles à champ radial.

### **4.106 Manœuvre de charges inductives**

#### **4.106.1 Pouvoir de coupure assigné de bobine d'inductance shunt**

Le pouvoir de coupure assigné de bobine d'inductance shunt est le courant maximal de bobine d'inductance shunt que l'interrupteur doit être capable de couper sous sa tension assignée.

NOTE Il convient que le fabricant spécifie le courant coupé minimal de bobines d'inductance shunt, s'il est distinct de zéro, que l'interrupteur est capable de couper.

#### 4.106.2 Pouvoir de coupure assigné de transformateur à vide

Le pouvoir de coupure assigné de transformateur à vide est le courant maximal de transformateur à vide que l'interrupteur doit être capable de couper sous sa tension assignée.

#### 4.107 Efforts mécaniques assignés sur les bornes

Le paragraphe 4.103 de la CEI 62271-102 est applicable.

#### 4.108 Coordination des valeurs assignées pour interrupteur d'usage général

Un interrupteur d'usage général doit avoir des caractéristiques assignées particulières pour la fermeture et la coupure comme suit:

- pouvoir de coupure de charge principalement active égal au courant assigné en service continu;
- pouvoir de coupure de transformateur à vide égal à 1,0 % du courant assigné en service continu;
- pouvoir de coupure assigné de boucle fermée de lignes égal au courant assigné en service continu;
- pouvoir de coupure assigné de transformateurs en parallèle égal à 50 % du courant assigné en service continu;
- pouvoir de coupure assigné de câbles à vide égal aux valeurs du Tableau 1;
- pouvoir de coupure assigné de lignes à vide égal aux valeurs du Tableau 1;
- pouvoir de fermeture assigné en court-circuit égal à la valeur de crête du courant admissible.

Il convient de choisir les valeurs normalisées assignées dans la série R10 spécifiée dans la CEI 60059.

**Tableau 1 – Valeur préférentielles de pouvoir de coupure assigné de lignes à vide et de pouvoir de coupure de câbles à vide pour interrupteur d'usage général**

| Tension assignée<br>$U_r$<br>kV | Pouvoir de coupure assigné de<br>câbles à vide<br>$I_{4a}$<br>A | Pouvoir de coupure assigné de<br>lignes à vide<br>$I_{4b}$<br>A |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 52                              | 25                                                              | 2                                                               |
| 72,5                            | 25                                                              | 3                                                               |
| 100                             | 31,5                                                            | 5                                                               |
| 123                             | 31,5                                                            | 8                                                               |
| 145                             | 31,5                                                            | 20                                                              |
| 170                             | 40                                                              | 12,5                                                            |
| 245                             | 40                                                              | 25                                                              |
| 300                             | 50                                                              | 31,5                                                            |
| 362                             | 50                                                              | 50                                                              |
| 420                             | 63                                                              | 63                                                              |
| 550                             | –                                                               | 80                                                              |
| 800                             | –                                                               | 125                                                             |

NOTE 1 Des valeurs plus élevées, choisies dans la série R10, peuvent être fixées par le fabricant.

NOTE 2 Pour un interrupteur d'usage spécial, se référer à la CEI 62271-100 pour des valeurs suggérées de pouvoirs de coupure assignés de câbles ou de lignes à vide.

#### **4.109 Coordination des valeurs assignées pour interrupteurs d'usage limité ou d'usage spécial**

Un interrupteur d'usage limité a de préférence les mêmes caractéristiques assignées particulières qu'un interrupteur d'usage général, lorsque de telles caractéristiques sont applicables. Si d'autres valeurs sont assignées, il convient de les choisir dans la série R10.

Il n'est pas exigé que les caractéristiques assignées d'un interrupteur d'usage spécial soient coordonnées. Mais il convient de choisir les valeurs assignées dans la série R10 spécifiée dans la CEI 60059.

### **5 Conception et construction**

L'Article 5 de la CEI 62271-1 est applicable avec les ajouts indiqués ci-dessous.

#### **5.1 Exigences pour les liquides utilisés dans les interrupteurs à haute tension**

Le paragraphe 5.1 de la CEI 62271-1 est applicable.

#### **5.2 Exigences pour les gaz utilisés dans les interrupteurs à haute tension**

Le paragraphe 5.2 de la CEI 62271-1 est applicable.

#### **5.3 Raccordement à la terre des interrupteurs à haute tension**

Le paragraphe 5.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

#### **5.4 Equipements auxiliaires**

Le paragraphe 5.4 de la CEI 62271-1 est applicable.

#### **5.5 Manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure**

Le paragraphe 5.5 de la CEI 62271-1 est applicable.

#### **5.6 Manœuvre à accumulation d'énergie**

Le paragraphe 5.6 de la CEI 62271-1 est applicable.

#### **5.7 Manœuvre indépendante manuelle ou manœuvre indépendante à source d'énergie extérieure (manœuvre indépendante sans accrochage mécanique)**

Le paragraphe 5.7 de la CEI 62271-1 est applicable.

#### **5.8 Fonctionnement des déclencheurs**

Le paragraphe 5.8 de la CEI 62271-1 est applicable.

#### **5.9 Dispositifs de verrouillage et de surveillance basse et haute pression**

Le paragraphe 5.9 de la CEI 62271-1 est applicable.

#### **5.10 Plaques signalétiques**

Le paragraphe 5.10 de la CEI 62271-1 est applicable. Les interrupteurs et leurs dispositifs de manœuvre doivent être pourvus de plaques signalétiques contenant les renseignements indiqués au Tableau 2.

**Tableau 2 – Renseignements pour la plaque signalétique**

| (1)                                                                                  | Abréviation | Unité | Inter-rupteur | Dispositif de man-œuvre | Condition d'inscription seulement si |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------|---------------|-------------------------|--------------------------------------|
| (2)                                                                                  | (3)         | (4)   | (5)           | (6)                     |                                      |
| Fabricant                                                                            |             |       | a             | a                       |                                      |
| Désignation du type                                                                  |             |       | a             | a                       |                                      |
| Numéro de série                                                                      |             |       | a             | a                       |                                      |
| Tension assignée                                                                     | $U_r$       | kV    | a             |                         |                                      |
| Tension de tenue assignée aux chocs de foudre                                        | $U_p$       | kV    | a             |                         |                                      |
| Tension de tenue assignée aux chocs de manœuvre                                      | $U_s$       | kV    | c             |                         | Tension assignée $\geq 300$ kV       |
| Fréquence assignée                                                                   | $f_r$       | Hz    | a             |                         |                                      |
| Courant assigné en service continu                                                   | $I_r$       | A     | a             |                         |                                      |
| Courant de courte durée assigné                                                      | $I_k$       | kA    | a             |                         |                                      |
| Durée de court-circuit assignée                                                      | $t_k$       | s     | c             |                         | Différente de 1 s                    |
| Pouvoir de fermeture assigné en court-circuit                                        | $I_{ma}$    | kA    | a             |                         |                                      |
| Nombre de manœuvres de coupures en charge principalement active                      | $N$         |       | c             |                         | Différent de 10                      |
| Pouvoir de coupure assigné de charge principalement active                           | $I_t$       | A     | b             |                         |                                      |
| Pouvoir de coupure assigné de boucle fermée de lignes de transport                   | $I_{2a}$    | A     | b             |                         |                                      |
| Pouvoir de coupure assigné de transformateurs en parallèle                           | $I_{2b}$    | A     | b             |                         |                                      |
| Pouvoir de coupure assigné de câbles à vide                                          | $I_{4a}$    | A     | b             |                         |                                      |
| Pouvoir de coupure assigné de lignes à vide                                          | $I_{4b}$    | A     | b             |                         |                                      |
| Pouvoir de coupure assigné de barres omnibus à vide                                  | $I_{4c}$    | A     | b             |                         |                                      |
| Pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs                       | $I_{4d}$    | A     | b             |                         |                                      |
| Pouvoir de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins                   | $I_{4e}$    | A     | b             |                         |                                      |
| Pouvoir de coupure assigné de transformateur à vide                                  | $I_{5a}$    | A     | b             |                         |                                      |
| Pouvoir de coupure assigné de bobine d'inductance shunt                              | $I_{5b}$    | A     | b             |                         |                                      |
| Pouvoir de coupure assigné en cas de défaut à la terre                               | $I_{7a}$    | A     | b             |                         |                                      |
| Pouvoir de coupure assigné de câbles ou de lignes à vide en cas de défaut à la terre | $I_{7b}$    | A     | b             |                         |                                      |
| Pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins                 | $I_{in}$    | A     | b             |                         |                                      |
| Pression assignée de remplissage pour la manœuvre                                    | $p_{rm}$    | MPa   |               | b                       |                                      |
| Pression assignée de remplissage pour la coupure                                     | $p_{re}$    | MPa   | b             |                         |                                      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Abréviation | Unité | Inter-rupteur | Dispositif de man-œuvre | Condition d'inscription seulement si                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------|---------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| (1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | (2)         | (3)   | (4)           | (5)                     | (6)                                                                         |
| Tension assignée d'alimentation des auxiliaires                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $U_a$       | V     |               | <sup>a</sup>            |                                                                             |
| Masse (y compris le liquide)                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | $m$         | kg    | <sup>c</sup>  | <sup>c</sup>            | >300 kg                                                                     |
| Classe de température                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |             |       | <sup>c</sup>  | <sup>c</sup>            | Différente de<br>–5 °C pour<br>l'intérieur ou<br>–25 °C pour<br>l'extérieur |
| <sup>a</sup> L'inscription de ces valeurs est obligatoire; les valeurs ne figurant pas sur la plaque indiquent une valeur nulle.<br><sup>b</sup> L'inscription de ces valeurs est facultative.<br><sup>c</sup> L'inscription de ces valeurs dépend des conditions figurant à la colonne (6).                                          |             |       |               |                         |                                                                             |
| NOTE 1 Les abréviations de la colonne (2) peuvent être utilisées à la place des termes de la colonne (1).<br>Lorsque les termes de la colonne (1) sont utilisés, le mot "assigné" n'est pas nécessaire<br>NOTE 2 Il est permis de combiner les abréviations lorsque les valeurs sont identiques, par exemple: $I_r I_{I_{2a}}$ 400 A. |             |       |               |                         |                                                                             |

### 5.11 Dispositifs de verrouillage

Le paragraphe 5.11 de la CEI 62271-1 est applicable.

### 5.12 Indicateur de position

Le paragraphe 5.12 de la CEI 62271-1 est applicable.

### 5.13 Degrés de protection procurés par les enveloppes

Le paragraphe 5.13 de la CEI 62271-1 est applicable.

### 5.14 Lignes de fuite pour les isolateurs d'extérieur

Le paragraphe 5.14 de la CEI 62271-1 est applicable.

### 5.15 Etanchéité au gaz et au vide

Le paragraphe 5.15 de la CEI 62271-1 est applicable.

### 5.16 Etanchéité au liquide

Le paragraphe 5.16 de la CEI 62271-1 est applicable.

### 5.17 Risque de feu (inflammabilité)

Le paragraphe 5.17 de la CEI 62271-1 est applicable.

### 5.18 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Le paragraphe 5.18 de la CEI 62271-1 est applicable.

### 5.19 Emission de rayons X

Le paragraphe 5.19 de la CEI 62271-1 est applicable.

## **5.20 Corrosion**

Le paragraphe 5.20 de la CEI 62271-1 est applicable.

### **5.101 Mécanisme de fermeture**

Pour les interrupteurs possédant un pouvoir de fermeture en court-circuit, seuls sont autorisés les dispositifs de fermeture à accumulation d'énergie ou de fermeture dépendante à source d'énergie extérieure.

### **5.102 Résistance mécanique**

Les interrupteurs installés suivant les instructions du fabricant doivent être capables de supporter les efforts mécaniques assignés sur les bornes ainsi que les efforts électrodynamiques, sans réduction de leur sûreté de fonctionnement ou de leur aptitude à supporter le courant.

### **5.103 Position des contacts mobiles et de leurs dispositifs indicateurs ou de signalisation**

#### **5.103.1 Maintien en position**

Les interrupteurs, ainsi que leurs dispositifs de manœuvre, doivent être construits de telle façon qu'ils ne puissent pas quitter leur position d'ouverture ou de fermeture par gravité, vibrations, chocs d'importance raisonnable ou contact accidentel sur la tringlerie de leurs dispositifs de manœuvre ou sous l'action de forces électromagnétiques. Les interrupteurs ou leurs dispositifs de manœuvre doivent être conçus de façon à permettre la mise en œuvre de moyens rendant impossibles les manœuvres non autorisées.

#### **5.103.2 Indication de la position**

Les positions d'ouverture et de fermeture des interrupteurs doivent être indiquées. Cette exigence est satisfaite lorsque l'une des conditions suivantes est remplie: a) la distance d'isolement entre contacts ouverts ou la distance de sectionnement est visible; b) la position de chaque contact mobile est indiquée par un dispositif indicateur sûr.

NOTE 1 Un contact mobile visible peut servir de dispositif indicateur.

NOTE 2 Dans certains pays, la conception du sectionneur est telle que la distance de sectionnement est visible.

NOTE 3 Lorsque tous les pôles d'un interrupteur sont accouplés de telle sorte qu'ils soient manœuvrés comme un seul élément, il est possible d'utiliser un dispositif indicateur commun.

#### **5.103.3 Contacts auxiliaires de signalisation**

La signalisation de la position de fermeture ne doit pas se produire avant qu'on soit assuré que les contacts mobiles atteindront une position telle que le courant assigné en service continu, la valeur de crête du courant admissible assigné et le courant de courte durée admissible assigné puissent être supportés en sécurité.

La signalisation de la position d'ouverture ne doit pas se produire avant que les contacts mobiles aient atteint une position telle que la distance d'isolement entre contacts ou la distance de sectionnement soit au moins 80 % de la distance d'isolement ou de sectionnement totale ou avant qu'on soit assuré que les contacts mobiles atteindront leur position de pleine ouverture.

## 6 Essais de type

L'Article 6 de la CEI 62271-1 est applicable avec les ajouts et exceptions indiqués ci-dessous.

### 6.1 Généralités

Les essais de type des interrupteurs sont donnés dans le Tableau 3.

**Tableau 3 – Essais de type**

| Essais de type obligatoires                                                                               |                                                                                    | Paragraphes                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Essais diélectriques                                                                                      |                                                                                    | 6.2                         |
| Mesurage de la résistance du circuit principal                                                            |                                                                                    | 6.4                         |
| Essais d'échauffement                                                                                     |                                                                                    | 6.5                         |
| Essais au courant de courte durée admissible et à la valeur de crête du courant admissible                |                                                                                    | 6.6                         |
| Essais complémentaires sur les circuits auxiliaires et de commande                                        |                                                                                    | 6.10                        |
| Essais mécaniques à température ambiante                                                                  |                                                                                    | 6.101                       |
| Essais d'établissement et de coupure en court-circuit                                                     |                                                                                    | 6.102 et 6.107              |
| Essais de type dépendant de l'application, des caractéristiques assignées ou de la conception             | Condition nécessitant un essai de type                                             | Paragraphes                 |
| Essais de tension de perturbation radioélectrique                                                         | $U_r \geq 123$ kV                                                                  | 6.3                         |
| Vérification du degré de protection                                                                       | Classe IP assignée                                                                 | 6.7                         |
| Essai d'étanchéité                                                                                        | Systèmes à pression contrôlés, scellés ou fermés                                   | 6.8                         |
| Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)                                                           | Les équipements ou composants électroniques sont inclus dans le système secondaire | 6.9                         |
| Essais d'endurance mécanique accrue pour les disjoncteurs prévus pour des conditions spéciales de service | Caractéristiques assignées de Classe M2                                            | 6.101.3                     |
| Essais à haute et à basse températures                                                                    | Classe de température assignée                                                     | 6.101.3 de la CEI 62271-100 |
| Essais avec des efforts statiques sur les bornes                                                          | Interrupteur pour l'extérieur avec $U_r \geq 52$ kV                                | 6.101.6                     |
| Essais de fonctionnement dans des conditions sévères de formation de glace                                | Interrupteurs d'extérieur avec une épaisseur assignée de glace (10 mm ou 20 mm)    | 6.101.5                     |
| Essais de décharges partielles                                                                            | Si requis                                                                          | 6.2.9                       |
| Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs                                               | Si requis                                                                          | 6.103                       |
| Manoeuvre de charges inductives                                                                           | Si requis                                                                          | 6.106                       |
| Essais de coupure dans des conditions de défaut à la terre                                                | $U_r < 245$ kV                                                                     | 6.108                       |
| Essais pour les interrupteurs d'usage général                                                             | Uniquement les interrupteurs d'usage général                                       | 6.109                       |
| Essais pour les interrupteurs à usage limité                                                              | Uniquement les interrupteurs à usage limité                                        | 6.110                       |
| Essais pour les interrupteurs à usage spécial                                                             | Uniquement les interrupteurs à usage spécial                                       | 6.111                       |
| Essais de pollution artificielle                                                                          | Interrupteurs d'extérieur utilisés dans des zones polluées                         | 6.2.8 de la CEI 62271-1     |
| Procédure d'essai des rayonnements X pour les ampoules à vide                                             | Interrupteurs avec ampoules à vide uniquement                                      | 6.11                        |

Il convient d'effectuer tous les essais de type obligatoires sur un interrupteur à haute tension complet (rempli avec les types et quantités de liquides ou de gaz à la pression spécifiée ou réduite si requis), et avec des dispositifs de commande et ses équipements auxiliaires.

L'interrupteur à haute tension doit être conforme aux détails essentiels des dessins du type d'interrupteur spécifié.

## **6.2 Essais diélectriques**

Le paragraphe 6.2 de la CEI 62271-1 est applicable avec l'exception suivante.

### **6.2.9 Essais de décharges partielles**

Le Paragraphe 6.2.9 de la CEI 62271-1 est remplacé par ce qui suit:

La réalisation d'essais de décharges partielles sur l'interrupteur complet haute tension n'est pas requise. Toutefois, pour les interrupteur comportant des éléments auxquels s'applique une publication correspondante CEI prévoyant des mesurages de décharges partielles (par exemple les traversées, voir la CEI 60137[1]<sup>2</sup>), le fabricant doit prouver que ces éléments ont satisfait aux essais de décharges partielles prévus par la norme correspondante de la CEI. Pour le mesurage des décharges partielles, se reporter à la CEI 60270.

## **6.3 Essais de tension de perturbation radioélectrique**

Les essais de tension de perturbation radioélectrique doivent être effectués par accord entre fabricant et utilisateur. Le Paragraphe 6.3 de la CEI 62271-1 est applicable avec l'ajout suivant.

Les essais peuvent être effectués sur l'interrupteur dans les deux positions de fermeture et d'ouverture.

NOTE Ces essais ne sont pas exigés pour les interrupteurs de tension assignée comprise entre 52 kV et 100 kV, ni pour les interrupteurs dans des postes à isolation gazeuse.

## **6.4 Mesurage de la résistance des circuits**

Le paragraphe 6.4 de la CEI 62271-1 est applicable.

## **6.5 Essais d'échauffement**

Le paragraphe 6.5 de la CEI 62271-1 est applicable.

## **6.6 Essais au courant de courte durée admissible et à la valeur de crête du courant admissible**

Le paragraphe 6.6 de la CEI 62271-1 est applicable.

## **6.7 Vérification de la protection**

Le paragraphe 6.7 de la CEI 62271-1 est applicable.

## **6.8 Essais d'étanchéité**

Le paragraphe 6.8 de la CEI 62271-1 est applicable.

<sup>2</sup> Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

## **6.9 Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)**

Le paragraphe 6.9 de la CEI 62271-1 est applicable.

## **6.10 Essais complémentaires sur les circuits auxiliaires et de commande**

Le paragraphe 6.10 de la CEI 62271-1 est applicable.

## **6.11 Procédure d'essai des rayonnements X pour les ampoules à vide**

Le paragraphe 6.11 de la CEI 62271-1 est applicable.

### **6.101 Essais de fonctionnement mécanique**

#### **6.101.1 Disposition de l'interrupteur pour les essais**

Il convient de monter l'interrupteur destiné aux essais sur son propre support, et son mécanisme de manœuvre doit être actionné de la façon spécifiée. Il doit être essayé selon son dispositif de manœuvre de la façon suivante:

- un interrupteur tripolaire dont tous les pôles sont montés sur un châssis commun doit être essayé comme une unité complète;
- il convient d'essayer un interrupteur tripolaire dans lequel chaque pôle ou chaque colonne est monté séparément, comme un interrupteur tripolaire complet, mais, par commodité ou en raison de limitations des dimensions de l'emplacement d'essai, une unité unipolaire de l'interrupteur peut être essayée, à condition qu'elle soit équivalente à l'interrupteur tripolaire complet sur la gamme des essais ou bien qu'elle ne soit pas dans une condition plus favorable que cet interrupteur tripolaire complet, par rapport aux éléments suivants:
  - les caractéristiques de déplacement mécanique lors d'une manœuvre de fermeture (pour la méthode d'évaluation, voir 6.101.1.1 de la CEI 62271-100);
  - les caractéristiques de déplacement mécanique lors d'une manœuvre de fermeture (pour la méthode d'évaluation, voir 6.101.1.1 de la CEI 62271-100);
  - la disponibilité du fluide extincteur de l'arc;
  - la puissance et la robustesse des dispositifs de fermeture et d'ouverture;
  - la rigidité de la structure.

Lorsque l'essai d'un pôle d'interrupteur complet n'est pas pratique, des essais de composants peuvent être acceptés comme essais de type. Les composants sont des sous-ensembles fonctionnels séparés qui peuvent être manœuvrés indépendamment de l'interrupteur complet (par exemple pôle, unité de coupure, organe de manœuvre). Il convient que le fabricant détermine les composants à soumettre aux essais.

Lors des essais de composants, le fabricant doit apporter la preuve que les contraintes mécaniques exercées sur le composant pendant les essais ne sont pas inférieures à celles que subit le même composant lors de l'essai de l'interrupteur complet. Lorsque des essais sur composants sont utilisés pour les essais de type comme alternative à l'essai de l'interrupteur complet, ils doivent couvrir tous les différents types de composants de l'interrupteur complet, à condition que l'essai particulier soit applicable au composant.

Les pièces des équipements auxiliaires et des équipements de commande, fabriquées en conformité avec des normes particulières, doivent être conformes auxdites normes. La fonction appropriée de ces pièces en liaison avec le bon fonctionnement des autres pièces de l'interrupteur doit être vérifiée.

Sauf spécification contraire, les essais peuvent être effectués à n'importe quelle température de l'air ambiant qui convient.

La tension d'alimentation du dispositif de manœuvre doit être mesurée aux bornes au cours de la manœuvre de l'interrupteur. Les équipements auxiliaires formant partie intégrante du dispositif de manœuvre sont inclus. L'impédance ne doit pas être ajoutée entre l'alimentation et les bornes du dispositif pour la régulation de la tension appliquée.

Pour des interrupteurs à commande manuelle, la poignée peut, par commodité d'essai, être remplacée par un dispositif d'énergie extérieure dans lequel la vitesse de manœuvre des contacts d'interrupteur est équivalente à celle de la manœuvre à l'aide d'une poignée manuelle.

#### **6.101.2 Essais pour les interrupteurs d'usage général**

L'essai de fonctionnement mécanique doit comprendre 1000 cycles de manœuvres sans tension ni courant dans le circuit principal. Si une endurance supérieure à 1000 cycles est exigée, il convient d'effectuer les essais suivant accord entre fabricant et utilisateur.

Un interrupteur à dispositif de manœuvre à source d'énergie extérieure doit être soumis aux essais suivants:

- 900 cycles de fermeture-ouverture à la tension assignée d'alimentation et/ou à la pression assignée d'alimentation en gaz comprimé;
- 50 cycles de fermeture-ouverture à la tension minimale d'alimentation spécifiée et/ou à la pression minimale spécifiée d'alimentation en gaz comprimé;
- 50 cycles de fermeture-ouverture à la tension maximale d'alimentation spécifiée et/ou à la pression maximale spécifiée d'alimentation en gaz comprimé.

Un interrupteur à manœuvre manuelle doit être soumis à l'essai suivant:

- 1000 cycles de fermeture-ouverture en utilisant une gamme d'efforts de manœuvre typiques de ceux qui sont susceptibles de se présenter en service.

Il n'est pas exigé de durée entre les cycles ou entre les manœuvres de fermeture et d'ouverture. Cependant, ces essais doivent être effectués à une cadence telle que les échauffements des dispositifs électriques mis sous tension n'excèdent pas les valeurs spécifiées.

#### **6.101.3 Essais pour les interrupteurs à usage limité ou à usage spécial**

Sauf spécification contraire, les essais à effectuer pour les interrupteurs à usage limité doivent correspondre aux essais exigés pour un interrupteur d'usage général.

Dans le cas d'interrupteurs à usage spécial manœuvrés fréquemment, des essais d'endurance mécanique peuvent être effectués selon 6.102.5 de CEI 62271-102.

#### **6.101.4 Etat de l'interrupteur pendant et après les essais de fonctionnement mécanique**

Les positions de fermeture complète et d'ouverture complète doivent être atteintes pour chaque cycle de manœuvres.

Pendant les essais, on doit vérifier le fonctionnement satisfaisant des dispositifs de manœuvre, des contacts de commande, des contacts auxiliaires et des dispositifs indicateurs de position (le cas échéant).

Pendant les essais, il est permis de lubrifier suivant les instructions du fabricant, mais aucun réglage mécanique n'est autorisé.

Après les essais, toutes les pièces doivent être en bon état et ne doivent pas présenter d'usure anormale. On ne considère les contacts comme recouverts que si une couche de

revêtement subsiste aux points de contact après les essais; dans le cas contraire, les contacts doivent être considérés comme "non recouverts".

#### **6.101.5 Essais de fonctionnement dans des conditions sévères de formation de glace**

##### **6.101.5.1 Généralités**

S'ils sont exigés, les essais doivent être effectués suivant le 6.103 de la CEI 62271-102, avec l'exception suivante:

##### **6.101.5.2 Vérification du fonctionnement**

Les essais peuvent être considérés comme satisfaisants pour un interrupteur à manœuvre dépendante manuelle, même si plusieurs tentatives sont nécessaires pour ouvrir ou fermer correctement. Les interrupteurs à manœuvre à accumulation d'énergie ou à manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure doivent manœuvrer correctement à la première tentative.

##### **6.101.6 Essais avec des efforts statiques sur les bornes**

L'essai d'efforts mécaniques sur les bornes est effectué seulement s'il fait l'objet d'un accord entre fabricant et utilisateur, pour démontrer que l'interrupteur à haute tension fonctionne correctement avec des charges imposées par la glace, le vent et les conducteurs raccordés.

Si des essais sont effectués, le 6.102.4 de la CEI 62271-102 est applicable.

#### **6.102 Dispositions diverses pour les essais d'établissement et de coupure**

##### **6.102.1 Disposition de l'interrupteur pour les essais**

L'interrupteur en essai doit être complètement monté sur son propre support ou sur un support équivalent. Son dispositif de manœuvre doit être actionné dans les conditions spécifiées et, en particulier, si le dispositif de manœuvre est à commande électrique ou pneumatique, il doit être alimenté sous sa tension ou pression minimale, respectivement.

Avant d'entreprendre les essais d'établissement et de coupure, il est nécessaire d'effectuer des manœuvres à vide en enregistrant les caractéristiques de fonctionnement de l'interrupteur, telles que la vitesse de déplacement, la durée de fermeture et la durée d'ouverture.

Si c'est applicable, les essais doivent être effectués avec la masse volumique minimale de gaz pour la coupure et l'isolation.

Les interrupteurs à commande manuelle peuvent être manœuvrés à distance ou par une commande à source d'énergie extérieure telle que l'on obtienne une vitesse de manœuvre équivalente à celle de la commande manuelle.

On doit tenir compte des effets de la mise sous tension de l'une ou de l'autre des bornes de l'interrupteur. Lorsque l'interrupteur en service peut être alimenté ou mis sous tension par les deux bornes et que les dispositions matérielles d'un côté de l'interrupteur diffèrent de celles de l'autre côté, le côté alimentation du circuit d'essai doit être relié à la borne dont le raccordement présente les conditions les plus sévères. En cas de doute, 50 % du nombre total de manœuvres de fermeture-ouverture de chaque séquence d'essais doivent être effectués en reliant le côté alimentation du circuit d'essai à une borne de l'interrupteur et les 50 % restants de chaque séquence d'essai doivent être réalisés en reliant l'alimentation à la borne opposée.

Les essais d'établissement et de coupure des interrupteurs tripolaires doivent être effectués de la manière suivante:

- un interrupteur tripolaire dont les trois pôles sont montés dans une enveloppe commune doit être essayé comme une unité complète. Les essais d'établissement et de coupure ne sont autorisés qu'en triphasé, à moins que l'on puisse montrer qu'il n'existe ni interaction ni communication entre pôles pendant l'établissement ou la coupure.
- un interrupteur triphasé dont les appareils de connexion ne sont pas complètement indépendants doit être essayé, de préférence, comme une unité complète. Les essais d'établissement et de coupure en triphasé sont préférables, mais, pour des raisons de commodité ou de limitation de la station d'essai, on peut effectuer les essais en monophasé sur un seul pôle, à condition que pour toute la série des essais ce pôle ne soit pas placé dans une condition plus favorable que l'interrupteur tripolaire complet en ce qui concerne
  - les caractéristiques de déplacement mécanique lors d'une manœuvre de fermeture (pour la méthode d'évaluation, voir 6.101.1.1 de la CEI 62271-100);
  - les caractéristiques de déplacement mécanique lors d'une manœuvre de fermeture (pour la méthode d'évaluation, voir 6.101.1.1 de la CEI 62271-100);
  - la disponibilité du fluide extingueur de l'arc;
  - la puissance et la robustesse des dispositifs de fermeture et d'ouverture;
  - la rigidité de la structure.

Là où des essais monophasés sont autorisés, des essais par éléments séparés peuvent être effectués, sous réserve que l'interrupteur réponde aux exigences de 6.102.4.1 de la CEI 62271-100.

Des essais synthétiques monophasés ou triphasés peuvent être effectués conformément à la CEI 62271-101.

Pour les interrupteurs normalement installés dans une enveloppe métallique, à l'exception des interrupteurs sous enveloppe mécanique à isolation gazeuse, et qui émettent en manœuvre en charge des flammes ou des particules métalliques, la procédure suivante est exigée. Les essais doivent être effectués tandis que l'interrupteur est monté dans l'enveloppe métallique ou en plaçant des écrans métalliques près des parties sous tension, à une distance à spécifier par le fabricant. Les écrans, le châssis et toute autre partie normalement mise à la terre doivent être reliés à la terre par un fusible constitué par un fil de cuivre de 0,1 mm de diamètre et de 5 cm de longueur. On admet qu'aucun courant de fuite significatif n'a eu lieu si ce fil est intact après l'essai.

#### **6.102.2 Comportement de l'interrupteur pendant les essais de coupure**

L'interrupteur doit fonctionner correctement sans présenter de signe de fatigue excessive mécanique ou électrique. Il ne doit y avoir ni émission de flammes ni éjection de matières, ni génération de bruit susceptibles d'être nuisibles à l'opérateur.

Il ne doit pas y avoir d'émission de flammes ou de particules métalliques hors de l'interrupteur pendant la manœuvre, telles qu'elles puissent réduire le niveau d'isolement de l'interrupteur.

Il ne doit pas y avoir de courant de fuite significatif vers les charpentes ou les écrans mis à la terre qui puissent mettre en danger l'opérateur ou endommager les matériaux isolants.

#### **6.102.3 Etat de l'interrupteur après les essais de coupure**

Après l'essai, l'interrupteur ne doit pas présenter de détérioration significative, doit être capable de fonctionner normalement, de supporter son courant assigné en service continu, et de supporter les tensions spécifiées pour les essais diélectriques. L'état des contacts ne doit pas être susceptible d'affecter sensiblement le fonctionnement à toute valeur de pouvoir de fermeture et/ou de coupure jusqu'aux valeurs assignées. Les contacts d'arc ou toute autre

pièce interchangeable spécifiée peuvent être usés. La qualité de l'huile ou de tout autre matériau utilisé pour la coupure de l'arc peut être altérée et les quantités réduites au-dessous des quantités normales. Il peut y avoir des dépôts sur les isolateurs provenant de la décomposition du milieu extincteur d'arc.

Le contrôle visuel et la manœuvre hors charge de l'interrupteur après les essais sont habituellement suffisants pour contrôler les exigences ci-dessus.

En cas de doute sur l'aptitude de l'interrupteur à remplir les exigences diélectriques, il doit être soumis aux essais correspondants de tenue à la tension à fréquence industrielle conformément à 6.2.11 de la CEI 62271-100.

Les propriétés de sectionnement d'un interrupteur-sectionneur en position d'ouverture ne doivent pas être réduites au-dessous des valeurs spécifiées, par suite d'une détérioration des parties isolantes au voisinage de la distance de sectionnement ou en parallèle à cette dernière. Les exigences relatives aux sectionneurs figurant dans la CEI 62271-102 doivent être respectées.

#### **6.102.4 Etat de l'interrupteur pendant et après les essais de fermeture en court-circuit**

Pendant l'essai, aucune décharge disruptive ne doit survenir entre les parties sous tension et la terre ou entre phases. L'interrupteur peut subir pendant l'essai des dommages pouvant nécessiter une maintenance telle que remplacement des pièces, renouvellement du milieu extincteur ou nettoyage et réglage pour remettre l'interrupteur dans son état avant essai. Avant maintenance, l'interrupteur doit satisfaire aux critères suivants:

- a) conditions mécaniques: l'interrupteur doit être capable de manœuvrer mécaniquement et quand la manœuvre d'ouverture est commencée, l'interrupteur s'ouvre de manière prévue;
- b) aptitude à la coupure: l'interrupteur doit être en mesure de couper les courants correspondant à ses pouvoirs de coupure assignés;
- c) exigences diélectriques: les caractéristiques entre contacts ouverts haute tension et par rapport à la terre ne doivent pas être réduites au-dessous des valeurs spécifiées, par suite de la détérioration des pièces isolantes au voisinage de la distance d'isolement, ou parallèle à celle-ci.

Les propriétés de sectionnement d'un interrupteur-sectionneur en position d'ouverture ne doivent pas être réduites au-dessous des valeurs spécifiées, par suite d'une détérioration des parties isolantes au voisinage de la distance de sectionnement ou en parallèle à cette dernière. Les exigences relatives aux sectionneurs figurant dans la CEI 62271-102 doivent être respectées;

- d) courant admissible: l'interrupteur doit être capable de supporter son courant assigné en service continu sans que les échauffements stabilisés des parties métalliques en contact avec des matériaux isolants ne dépassent de plus de 10 K les valeurs maximales spécifiées. Aucune limite d'échauffement n'est fixée pour les autres parties de l'interrupteur, si ce n'est que l'échauffement doit atteindre une valeur stable.

Le contrôle visuel et la manœuvre hors charge après les essais sont habituellement suffisants pour vérifier les exigences ci-dessus.

En cas de doute sur l'aptitude de l'interrupteur à remplir les exigences de 6.102 c), il doit être soumis aux essais correspondants de tenue à la tension à fréquence industrielle conformément à 6.2.11 de la CEI 62271-100.

## 6.103 Circuits d'essais pour les essais d'établissement et de coupure

### 6.103.1 Généralités

Les essais de coupure des interrupteurs tripolaires peuvent être effectués sur des circuits d'essai triphasés ou monophasés, sauf exception notée en 6.101.1.

### 6.103.2 Mise à la terre du circuit d'essai et de l'interrupteur

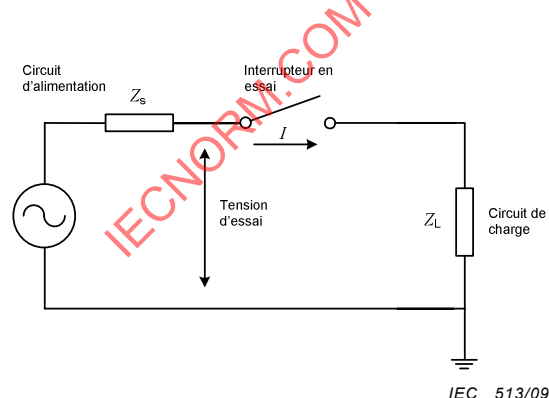
Les essais de coupure des interrupteurs tripolaires d'usage général de tension assignée inférieure ou égale à 170 kV, avec un circuit d'essai triphasé, doivent être effectués en mettant à la terre soit le point neutre de l'alimentation, soit le point neutre de la charge. Dans le premier cas, l'impédance homopolaire doit être inférieure à trois fois l'impédance directe, côté alimentation. Dans l'un ou l'autre cas, le circuit d'essai et le châssis de l'interrupteur doivent être mis à la terre de telle sorte que les conditions de tension entre partie active et terre et entre entrée et sortie de l'interrupteur après extinction de l'arc reproduisent les conditions de tension en service.

Les interrupteurs d'usage général de tension assignée supérieure ou égale à 245 kV doivent être essayés en mettant à la terre les deux points neutres de l'alimentation et de la charge.

Les essais de coupure en monophasé d'interrupteurs tripolaires ou les essais d'interrupteurs unipolaires doivent être effectués avec une borne du pôle en essai reliée à l'alimentation et l'autre borne reliée à la charge. Le point commun à la charge et à l'alimentation peut être mis à la terre, comme l'illustrent par exemple la Figure 1 et la Figure 2. Toutefois, quand il est nécessaire d'assurer une répartition correcte de la tension entre les modules d'un interrupteur à plusieurs modules en série, un autre point du circuit d'alimentation peut être relié à la terre.

Pour les circuits d'essai capacitifs, se reporter à 6.105.1 et à 6.105.2. Pour tous les essais, les connexions utilisées doivent être indiquées dans le rapport d'essai.

NOTE Les recommandations de mise à la terre pour les essais des interrupteurs d'usage général correspondent, pour les tensions assignées inférieures ou égales à 170 kV à des réseaux à neutre non effectivement à la terre (du côté alimentation et/ou du côté charge), et pour les tensions assignées supérieures ou égales à 245 kV à des réseaux à neutre à la terre (du côté alimentation et du côté charge). Pour des conditions différentes de mise à la terre, les conditions d'essai et les caractéristiques assignées de coupure des interrupteurs d'usage spécial ou limité sont à définir par accord entre fabricant et utilisateur.



Tension et courant d'essai définis aux Tableaux 6 et 7

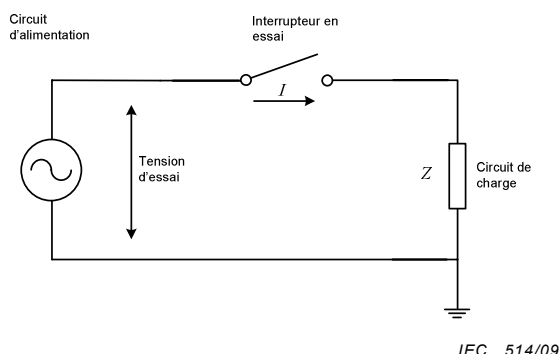
Circuit d'alimentation:

- Facteur de puissance  $\leq 0,2$
- $Z_T = Z_S + Z_L$
- $|Z_S| = (0,15 \pm 0,03) |Z_T|$
- Paramètres de la TTR: Tableaux 4, 6 et 7

Circuit de charge:

- Facteur de puissance = 0,65 à 0,75

**Figure 1 – Circuit d'essai monophasé pour les essais d'établissement et de coupure de courants de charge principalement active, séquences d'essais 1 et 3**



Séquence d'essai 2a – Boucle fermée de lignes de transport:

- Tension et courant d'essai, et paramètres de TTR définis aux Tableaux 5, 6 et 7
- Facteur de puissance  $\leq 0,3$

Séquence d'essais 2b – Transformateurs en parallèle:

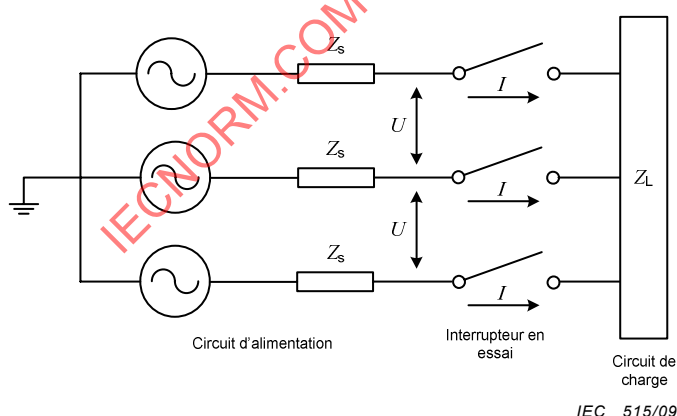
- Tension et courant d'essai, et paramètres de TTR définis aux Tableaux 4, 7 et 8
- Facteur de puissance  $\leq 0,2$

**Figure 2 – Circuit d'essai monophasé pour les essais d'établissement et de coupure de courants de boucle fermée de lignes de transport et de transformateurs en parallèle, séquences d'essais 2a et 2b**

### 6.103.3 Circuit de charge principalement active (séquence d'essai 1 et séquence d'essai 3)

Le circuit d'essai illustré dans les Figures 1 et 3 comprend un circuit d'alimentation et un circuit de charge. Le circuit d'alimentation comprenant l'impédance en série totale doit être constitué de réactances et de résistances en série et doit avoir un facteur de puissance ne dépassant pas 0,2. L'impédance du circuit d'alimentation doit représenter  $(15 \pm 3) \%$  de l'impédance totale du circuit d'essai pour la séquence d'essai 1 (à 100 % du courant assigné). La même impédance du circuit d'alimentation doit être utilisée pour tous les essais à des niveaux réduits de courant.

L'impédance représentant le circuit d'alimentation peut être reliée au côté source de l'interrupteur, ou répartie entre les deux côtés. La tension transitoire de rétablissement présumée du circuit d'alimentation, dans les conditions d'un défaut aux bornes, ne doit pas être moins sévère que celles spécifiées dans le Tableau 4. Il convient que le circuit de charge ait un facteur de puissance de  $0,7 \pm 0,05$  et il doit être constitué d'inductances en parallèle avec des résistances. Des facteurs de puissance inférieurs peuvent être utilisés à la discrétion du fabricant.



Séquence d'essais 1:  $I = I_1$

Séquence d'essais 3:  $I = 0,05 \times I_1$

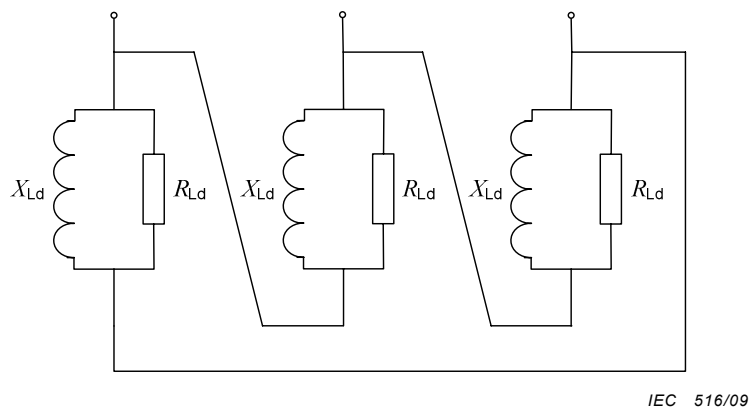
Circuit d'alimentation:

- Facteur de puissance  $\leq 0,2$
- $Z_T = Z_S + Z_L$
- $|Z_S| = (0,15 \pm 0,03) |Z_T|$
- Paramètres de la TTR: Tableau 3

Circuit de charge:

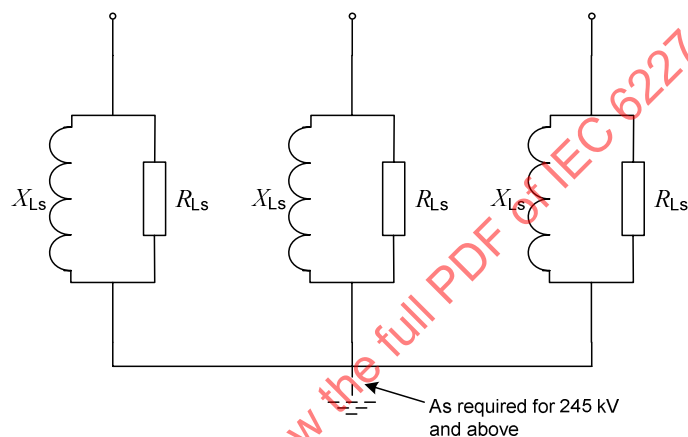
- Facteur de puissance = 0,65 à 0,75

**Figure 3a – Circuit général**



IEC 516/09

Figure 3b – Couplage de la charge en triangle



As required for 245 kV and above

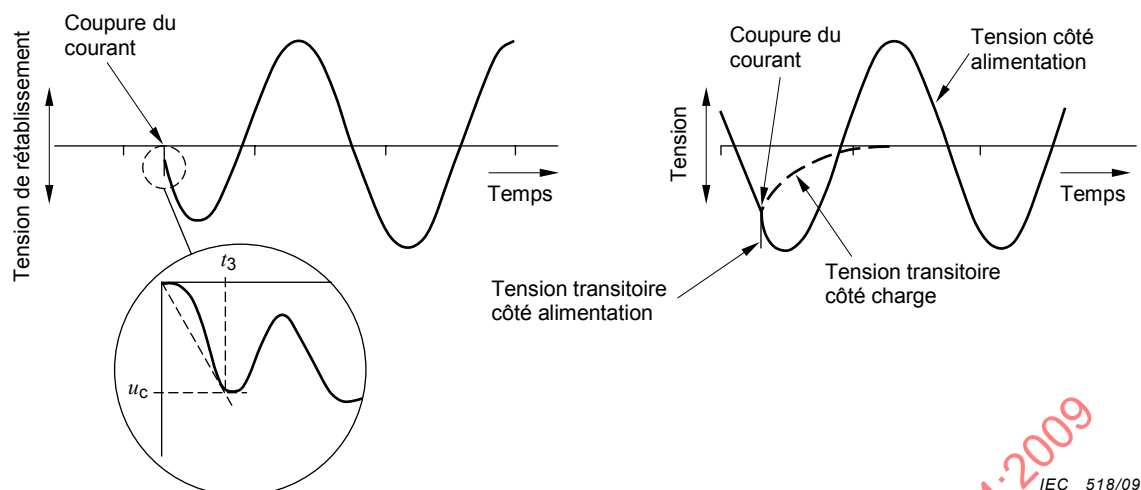
IEC 517/09

Figure 3c – Couplage de la charge en étoile

#### Légende

|          |                                                                                                |          |                                                                                              |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| $X_{Ld}$ | Impédance inductive du circuit de charge dans le cas d'un circuit de charge en triangle        | $X_{Ls}$ | Impédance inductive du circuit de charge dans le cas d'un circuit de charge en étoile        |
| $R_{Ld}$ | Résistance d'amortissement du circuit de charge dans le cas d'un circuit de charge en triangle | $R_{Ls}$ | Résistance d'amortissement du circuit de charge dans le cas d'un circuit de charge en étoile |

Figure 3 – Circuit d'essai triphasé pour les essais d'établissement et de coupure de courants de charge principalement active, séquences d'essais 1 et 3



IEC 518/09

**Figure 4 – Tension transitoire côté alimentation et côté charge pour les essais de coupure de courant de charge principalement active (voir Tableau 4)**

**Tableau 4 – Paramètres de TTR du circuit d'alimentation pour les essais de coupure de courant de charge principalement active**

| Tension assignée<br>$U_r$<br>kV | Composante du circuit d'alimentation         |                                |
|---------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------|
|                                 | Valeur de crête de la tension<br>$u_c$<br>kV | Paramètre temps<br>$t_3$<br>μs |
| 52                              | 11                                           | 23                             |
| 72,5                            | 15                                           | 28                             |
| 100                             | 21                                           | 34                             |
| 123                             | 26                                           | 40                             |
| 145                             | 30                                           | 45                             |
| 170                             | 36                                           | 51                             |
| 245                             | 34                                           | 66                             |
| 300                             | 42                                           | 73                             |
| 362                             | 50                                           | 82                             |
| 420                             | 60                                           | 88                             |
| 550                             | 76                                           | 102                            |
| 800                             | 110                                          | 119                            |

NOTE 1 La tension transitoire a une forme (1-cos) et les valeurs s'appliquent au premier pôle qui coupe. Les tensions transitoires côté alimentation et côté charge de l'interrupteur sont illustrées dans la Figure 4.

NOTE 2 L'impédance série d'alimentation est égale à 15 % de l'impédance totale avec un facteur de puissance inférieur ou égal à 0,2. La charge est constituée d'inductances et de résistances en parallèle. La TTR du côté charge est une tension exponentiellement décroissante dont la valeur de crête est déterminée par le facteur de puissance de la charge. Ainsi la TTR côté charge est complètement déterminée par le circuit de charge et il n'est pas nécessaire de la spécifier.

NOTE 3 L'impédance série d'alimentation est une combinaison de l'impédance locale d'un transformateur (supposée égale à 10 %) et de l'impédance lointaine de la source (supposée égale à 5 %). La fréquence de la TTR du transformateur est beaucoup plus élevée que la fréquence de la TTR de la source, ainsi la composante côté alimentation de la TTR provient seulement de la contribution du transformateur. Le facteur de premier pôle  $k_{pp}$  est de 1,5 pour les tensions assignées inférieures à 245 kV en supposant le neutre des transformateurs non effectivement à la terre, et de 1,0 pour les tensions assignées supérieures ou égales à 245 kV, en supposant le neutre des transformateurs mis solidement à la terre. On prend pour hypothèse que le facteur d'amplitude est de 1,7 suivant la CEI 62271-100 pour la séquence d'essais de court-circuit T10.

$$u_c = U_r \sqrt{\frac{2}{3}} \times k_{pp} \times 1,7 \times 0,10$$

#### 6.103.4 Circuits de boucle fermée (séquence d'essais 2)

##### a) Lignes de transport (séquence d'essais 2a)

Les circuits d'essais (voir Figures 2 et 5) doivent avoir un facteur de puissance ne dépassant pas 0,3. Les tensions transitoires de rétablissement présumées ne doivent pas être inférieures à celles qui sont spécifiées au Tableau 5.

Pour les essais en triphasé des interrupteurs tripolaires, la tension d'essai entre phases du circuit ouvert est égale à 20 % de la tension assignée des interrupteurs de tension assignée inférieure à 300 kV, et à 15 % de la tension assignée des interrupteurs de tension assignée supérieure ou égale à 300 kV. Pour les essais en monophasé, les tensions d'essai sont indiquées aux Tableaux 6 et 7.

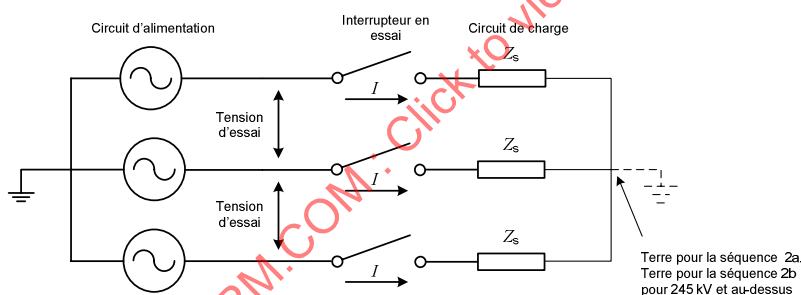
NOTE Ces valeurs sont expérimentales et sont sujettes à révision.

Les lignes de transport anormalement longues ou avec compensation série sont considérées comme des cas spéciaux pour lesquels les tensions réelles peuvent dépasser ces valeurs spécifiées. Pour ces cas spéciaux, les essais doivent être effectués suivant accord entre fabricant et utilisateur.

La tension transitoire de rétablissement présumée spécifiée a la forme d'une onde triangulaire due à l'impédance d'onde des lignes de transport connectées. Cependant, pour simplifier les essais, une tension transitoire de rétablissement ayant une forme (1-cos) peut être utilisée si les valeurs de VATR (vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement) et de  $u_c$ , spécifiées au Tableau 5, sont obtenues en appliquant la méthode des 2 paramètres.

##### b) Transformateurs en parallèle (séquence d'essais 2b)

Les circuits d'essais (voir Figures 2 et 5) doivent avoir un facteur de puissance ne dépassant pas 0,2. Les tensions transitoires de rétablissement présumées ne doivent pas être moins sévères que celles qui sont spécifiées au Tableau 8.



Séquence d'essai 2a – Boucle fermée de lignes de transport:

- Tension d'essai =  $0,20 U_r$  pour tensions assignées <300 kV
- Tension d'essai =  $0,15 U_r$  pour tensions assignées  $\geq 300$  kV
- Courant d'essai =  $I_{2a}$
- Facteur de puissance  $\leq 0,3$
- Paramètres de la TTR: Tableau 5

Séquence d'essais 2b – Transformateurs en parallèle:

- Tension d'essai =  $0,15 U_r$
- Courant d'essai =  $I_{2b}$
- Facteur de puissance  $\leq 0,2$
- Paramètres de TTR: Tableau 8

**Figure 5 – Circuit d'essai triphasé pour les essais d'établissement et de coupure de courants de boucle fermée de lignes de transport et de transformateurs en parallèle, séquences d'essais 2a et 2b**

**Tableau 5 – Paramètres de TTR pour les essais de coupure  
de courant de boucle fermée de lignes de transport**

| Tension assignée<br>$U_r$<br><br>kV | Valeur de crête de la<br>tension<br>$u_c$<br><br>kV | Facteur VATR <sup>a</sup><br>kV/μs par kA |       |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------|
|                                     |                                                     | 60 Hz                                     | 50 Hz |
| 52                                  | 14                                                  | 0,227                                     | 0,189 |
| 72,5                                | 19                                                  | 0,227                                     | 0,189 |
| 100                                 | 26                                                  | 0,227                                     | 0,189 |
| 123                                 | 32                                                  | 0,227                                     | 0,189 |
| 145                                 | 38                                                  | 0,227                                     | 0,189 |
| 170                                 | 44                                                  | 0,227                                     | 0,189 |
| 245                                 | 64                                                  | 0,227                                     | 0,189 |
| 300                                 | 59                                                  | 0,174                                     | 0,145 |
| 362                                 | 71                                                  | 0,174                                     | 0,145 |
| 420                                 | 82                                                  | 0,174                                     | 0,145 |
| 550                                 | 110                                                 | 0,174                                     | 0,145 |
| 800                                 | 157                                                 | 0,174                                     | 0,145 |

<sup>a</sup> Le temps peut être calculé d'après les facteurs VATR/kA pour une tension donnée en valeur de crête  $u_c$  et un courant d'essai en kA, au moyen de l'équation suivante:

$$t_3 = \frac{u_c}{(\text{Facteur VATR} \times (\text{courant d'essai (kA)}))}$$

NOTE 1 La tension transitoire a la forme d'une rampe rectiligne jusqu'à la valeur de crête. Par souci de commodité des essais, une tension transitoire de forme (1-cos) peut être utilisée. Une tension transitoire typique est représentée dans la Figure 6.

NOTE 2 La tension d'essai entre phases du circuit ouvert, en régime établi, est égale à 20 % de la tension assignée en dessous de 300 kV et à 15 % de la tension assignée à partir et au-dessus de 300 kV.  $u_c$  correspond à un réseau à neutre solidement à la terre, avec un facteur de premier pôle  $k_{pp}$  égal à 1,0 et un facteur d'amplitude égal à 1,6 suivant les facteurs d'amplitude spécifiés par la CEI 62271-100 pour les défauts proches en ligne.

$$u_c = U_r \times (0,20 \text{ ou } 0,15) \sqrt{\frac{2}{3}} \times 1,0 \times 1,6$$

NOTE 3 La VATR est égale au produit de  $di/dt$  par l'impédance d'onde équivalente  $Z_{eq}$ . L'impédance d'onde équivalente est calculée pour le premier pôle qui coupe parce que le courant coupé est maximal dans ce cas.

$$Z_{eq} = \frac{3 \left( \frac{Z_1}{2} \right) Z_0}{\left( \frac{Z_1}{2} \right) + Z_0}$$

où  $Z_1$  est l'impédance d'onde directe et  $Z_0$  l'impédance d'onde homopolaire.

$Z_{eq} = 425 \, \Omega$  pour les tensions inférieures ou égales à 245 kV et à 325  $\Omega$  pour les tensions supérieures à 245 kV.  $Z_{eq}$  n'est pas la même que pour l'impédance équivalente utilisée pour les défauts proches en ligne.  $Z_{eq}$  s'applique au premier pôle qui coupe et non pas au dernier comme dans le cas des défauts proches en ligne. L'impédance d'onde varie au-dessus de 245 kV à cause de l'utilisation de conducteurs en faisceaux. Il est également à noter que les conducteurs ne se touchent pas pendant une manœuvre de boucle fermée.