

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



## AMENDMENT 2 AMENDEMENT 2

### High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers

### Appareillage à haute tension – Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-100:2008/AMD2:2017



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

### About the IEC

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

### About IEC publications

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

#### IEC Catalogue - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

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

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

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

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

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

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

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

#### IEC Glossary - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

### A propos de l'IEC

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

### A propos des publications IEC

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

#### Catalogue IEC - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

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

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

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

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

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

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

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

#### Glossaire IEC - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

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

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

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



AMENDMENT 2  
AMENDEMENT 2

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

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

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

ICS 29.130.10

ISBN 978-2-8322-4357-2

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.  
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

## FOREWORD

This amendment has been prepared by subcommittee 17A: Switching devices, of IEC technical committee 17: High-voltage switchgear and controlgear.

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

| FDIS          | Report on voting |
|---------------|------------------|
| 17A/1135/FDIS | 17A/1139/RVD     |

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

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

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

The contents of the corrigendum of January 2018 have been included in this copy.

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

## INTRODUCTION to the Amendment

This amendment includes the following significant technical changes:

- the rated TRV has been replaced by a rated first-pole-to-clear factor;
- the rated time quantities have been moved to Clause 5 (Design and construction) and are no longer ratings. The determination of the break time has been moved to IEC 62271-306;
- the number of test specimens has been removed;
- new test procedure for test-duty T100a;
- TRVs for circuit-breakers having a rated voltage of 52 kV and below used in effectively earthed neutral systems have been added;
- 6.111 (capacitive current switching) has been rewritten;
- a number of informative annexes have been moved to IEC TR 62271-306.

## 1.1 Scope

*Add, after the third existing paragraph, the following paragraph:*

This standard only covers direct testing.

## 1.2 Normative references

*Replace, in the existing list, the reference to IEC 60137 by the following new reference:*

IEC 60137:2008, *Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 V*

*Add, to the existing list, the following reference:*

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

## 3 Terms and definitions

### 3.1.132 cable system

*Replace the existing references to "Table 1" (2 occurrences) to "Tables 24 and 44".*

### 3.1.133 line system

*Replace the existing definition by the following new definition, without modifying the notes.*

system in which the TRV during breaking of terminal fault at 100 % of short-circuit breaking current does not exceed the two-parameter envelope derived from Tables 25 and 45 of this standard

*Add, after the existing definition 3.1.133, the following new terms and definitions:*

### 3.1.134 belted cable

multi-conductor cable in which part of the insulation is applied to each conductor individually, and the remainder is applied over the assembled cores

[IEV 461-06-11]

### 3.1.135 individually screened cable radial field cable

cable in which each core is covered with an individual screen

[IEV 461-06-12]

### 3.4.120 circuit-breaker class S2

*Replace the existing definition by the following new definition:*

circuit-breaker used in a line-system

*Add, after definition 3.4.120, the following new term and definition:*

### **3.4.121**

#### **current chopping**

current interruption prior to the natural power frequency current zero of the circuit connected

### **3.7.133**

#### **opening time**

*Replace the existing term, definition and notes as follows:*

#### **opening time (of a mechanical switching device)**

[IEV 441-17-36]

### **3.7.134**

#### **arcing time (of a multipole switching device)**

*Replace the existing term, definition and source as follows:*

#### **arcing time (of a pole)**

interval of time between the instant of the initiation of an arc in a pole and the instant of final arc extinction in that pole

[IEV 441-17-37]

### **3.7.135**

#### **break-time**

*Replace the existing definition by the following:*

interval of time between the beginning of the opening time of a mechanical switching device and the end of the total arcing time

[IEV 441-17-39, modified]

### **3.7.136**

#### **closing time**

*Add, after the existing definition, the following new source:*

[IEV 441-17-41, modified]

### **3.7.137**

#### **make time**

*Replace the source of the definition as follows:*

[IEV 441-17-40, modified]

### **3.7.140**

#### **dead time (during auto-reclosing)**

*Add, after the existing note, the following source:*

[IEV 441-17-44, modified]

### **3.7.144**

#### **make-break time**

*Replace the existing definition together with the notes by the following:*

interval of time between the initiation of current flow in the first pole during a closing operation and the end of the total arcing time during the subsequent opening operation

[IEV 441-17-43, modified]

### **3.7.159** **minimum clearing time**

*Replace the definition and note as follows:*

sum of the minimum opening time, minimum relay time (0,5 cycle) and the shortest arcing time of a minor loop interruption in the phase with intermediate asymmetry that starts with a minor loop at short-circuit current initiation

NOTE 1 This definition is applicable only for the determination of the test parameters during short-circuit breaking tests according to test duty T100a.

NOTE 2 For testing purposes the minimum arcing time found during test-duty T100s is used.

*Add, after the existing definition 3.7.160 added by Amendment 1, the following new terms and definitions:*

### **3.7.161** **initiation of (opening or closing) operation**

instant of receipt of command for operation at the control circuit

### **3.7.162** **total arcing time**

interval of time between the instant of the first initiation of an arc in a pole and the instant of arc extinction in all poles

### **3.7.163** **direct connection to an overhead line**

connection between a circuit-breaker and an overhead line having a capacitance less than 5 nF

NOTE When the cable capacitance per unit length is 0,3 nF/m, it corresponds to a length of cable shorter than approximately 17 m. For further information see IEC TR 62271-306.

## **3.8 Index of definitions**

*Add, to the existing alphabetical list, the following new lines:*

|                                                    |         |
|----------------------------------------------------|---------|
| belted cable .....                                 | 3.1.134 |
| current chopping .....                             | 3.4.121 |
| direct connection to an overhead line .....        | 3.7.163 |
| individually screened cable .....                  | 3.1.135 |
| initiation of (opening or closing) operation ..... | 3.7.161 |
| total arcing time .....                            | 3.7.162 |

## **4 Ratings**

*Replace item l) by the following new item:*

l) rated first-pole-to-clear factor;

*Replace the existing item o) by the following new item:*

o) void.

*Replace item q) by the following new item:*

q) rated line-charging breaking current, for circuit-breakers switching overhead transmission lines (mandatory for circuit-breakers of rated voltages above 52 kV and circuit-breakers of class S2);

*Delete the existing item r) from the end of the second existing list, and place it at the beginning of the third existing list before item s).*

#### **4.10 Rated pressures of compressed gas supply for insulation, operation and/or interruption**

*Replace the title by the following:*

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

*Add, between subclauses 4.10 and 4.101, the following new subclause 4.11:*

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

Subclause 4.11 of IEC 62271-1 is applicable.

#### **4.101 Rated short-circuit breaking current ( $I_{sc}$ )**

*Replace, in the first paragraph, "4.102" by "6.104.5.1" and "4.105" by "6.109.3".*

#### **4.102 Transient recovery voltage related to the rated short-circuit breaking current**

*Replace the complete subclause modified by Amendment 1 including Tables 1 to 7 by the following:*

#### **4.102 Rated first-pole-to-clear factor**

The first-pole-to-clear factor ( $k_{pp}$ ) is a function of the earthing of the system neutral. The rated values of  $k_{pp}$  are:

- 1,2 for terminal fault breaking by circuit-breakers with rated voltages higher than 800 kV in effectively earthed neutral systems;
- 1,3 for terminal fault breaking by circuit-breakers for rated voltages up to and including 800 kV in effectively earthed neutral systems;
- 1,5 for terminal fault breaking by circuit-breakers for rated voltages less than 245 kV in non-effectively earthed neutral systems.

In this standard, it is considered that circuit-breakers with rated voltages up to and including 170 kV can be either in effectively earthed neutral systems or in non-effectively earthed neutral systems. Circuit-breakers with rated voltages higher than 170 kV are in effectively-earthed systems.

NOTE The following associated first-pole-to-clear factors for out-of-phase conditions are not ratings:

- 2,0 for breaking in out-of-phase conditions in systems with effectively earthed neutral;
- 2,5 for breaking in out-of-phase conditions in systems with non-effectively earthed neutral.

#### **4.105 Characteristics for short-line faults**

*Replace the title and text modified by Amendment 1 of the complete subclause, including Table 8, by the following:*

#### **4.105 Short-line fault breaking capability**

A short-line fault breaking capability is required for circuit-breakers with a rated short-circuit breaking current exceeding 12,5 kA for direct connection to overhead lines.

#### **4.106 Rated out-of-phase making and breaking current**

*Replace the existing text by the following:*

The rated out-of-phase breaking current is the maximum out-of-phase current that the circuit-breaker shall be capable of breaking under the conditions of use and behaviour prescribed in this standard in a circuit having a recovery voltage as specified below.

The specification of a rated out-of-phase making and breaking current is not mandatory.

If a rated out-of-phase breaking current is assigned, the rated out-of-phase breaking current shall be 25 % of the rated short-circuit breaking current and the rated out-of-phase making current shall be the crest value of the rated out-of-phase breaking current, unless otherwise specified.

The standard conditions of use with respect to the rated out-of-phase making and breaking current are as follows:

- opening and closing operations carried out in conformity with the instructions given by the manufacturer for the operation and proper use of the circuit-breaker and its auxiliary equipment;
- earthing condition of the neutral for the power system corresponding to that for which the circuit-breaker has been tested;
- absence of a fault on either side of the circuit-breaker.

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

*Replace the text by the following:*

The rated line-charging breaking current is the line-charging current up to which the circuit-breaker shall be capable of breaking at its rated voltage under the conditions of use and behaviour prescribed in this standard. The associated restrike class (C1 or C2) shall be assigned when a line-charging breaking current is assigned.

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

*Replace the text by the following:*

The rated cable-charging breaking current is the cable-charging current up to which the circuit-breaker shall be capable of breaking at its rated voltage under the conditions of use and behaviour prescribed in this standard. The associated restrike class (C1 or C2) shall be assigned when a cable-charging breaking current is assigned.

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

*Replace the first paragraph by the following:*

The rated single capacitor bank breaking current is the single capacitor bank breaking current up to which the circuit-breaker shall be capable of breaking at its rated voltage under the conditions of use and behaviour prescribed in this standard. This breaking current refers to the switching of a shunt capacitor bank where no shunt capacitors are connected to the source side of the circuit-breaker. The associated restrike class (C1 or C2) shall be assigned when a single capacitor bank breaking current is assigned.

**Table 9 – Preferred values of rated capacitive switching currents**

*In NOTE 2 to the table replace "Annex H" by "IEC TR 62271-306".*

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

*Replace the first paragraph by the following:*

The rated back-to-back capacitor bank breaking current is the back-to-back capacitor bank current up to which the circuit-breaker shall be capable of breaking at its rated voltage under the conditions of use and behaviour prescribed in this standard. The associated restrike class (C1 or C2) shall be assigned when a back-to-back capacitor bank breaking current is assigned.

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

*Replace the existing text by the following:*

The rated back-to-back capacitor bank inrush making current is the peak value of the current that the circuit-breaker shall be capable of making at its rated voltage and with a frequency of the inrush current during a simultaneous three-phase making operation (see Table 9).

#### **4.109 Rated time quantities**

*Replace the title and text of the subclause, including 4.109.1 modified by Amendment 1, by the following:*

**4.109** Void.

*Delete the entire subclause and title, including 4.109.1 modified by Amendment 1.*

### **5.4 Auxiliary equipment**

*Delete, in the second dashed paragraph and in Note 2 the word "rated".*

#### **5.5 Dependent power closing**

*Replace the title by the following:*

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

#### **5.6 Stored energy closing**

*Replace the title by the following:*

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

#### **5.7 Independent manual operation**

*Replace the title by the following:*

#### **5.7 Independent manual or power operation**

#### **5.101 Requirements for simultaneity of poles during single closing and single opening operations**

*Replace the entire text of this subclause by the following:*

The following requirements are applicable under rated conditions of the auxiliary and control voltage and pressure for operation:

- The maximum difference between the instants of contacts touching during closing in the individual poles shall not exceed a quarter of a cycle of rated frequency. If one pole consists of more than one interrupter unit connected in series, the maximum difference between the instants of contacts touching within these series connected interrupter units shall not exceed one sixth of a cycle of rated frequency. Where closing resistors are used, the maximum difference between the instants of contacts touching during closing in the individual closing resistors shall not exceed one half cycle of rated frequency. If on one pole more than one individual closing resistor is used, each assigned to one of the interrupter units which are connected in series, the maximum difference between the instants of contacts touching within these series connected closing resistors shall not exceed one third of a cycle of rated frequency;
- The maximum difference between the instants of contacts separating during opening shall not exceed one sixth of a cycle of rated frequency. If one pole consists of more than one interrupter unit connected in series, the maximum difference between the instants of contact separation within these series connected interrupter units shall not exceed one eighth of a cycle of rated frequency.

NOTE For a circuit-breaker having separate poles, the requirement is applicable when these operate in the same conditions; after a single-pole reclosing operation the conditions of operation for the three mechanisms may not be the same.

Add, after 5.104, the new subclauses and the new table as follows:

#### **5.105 Time quantities**

Refer to Figures 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7.

Values may be assigned to the following time quantities:

- opening time (no-load);
- break-time;
- closing time (no-load);
- open-close time (no-load);
- reclosing time (no-load);
- close-open time (no-load);
- pre-insertion time (no-load).

Time quantities are based on

- rated supply voltages of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits (see 4.8);
- rated supply frequency of closing and opening devices and of auxiliary circuits (see 4.9);
- rated pressure of compressed gas supply for controlled pressure systems (see 4.10);
- rated filling levels for insulation and/or operation (see 4.11);
- an ambient air temperature of  $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

NOTE 1 It is not practical to assign a value of make-time or of make-break time due to the variation of the arcing time and the pre-arcing time.

NOTE 2 The break-time is determined using the calculation method given in IEC TR 62271-306 [4].

#### **5.106 Static mechanical loads**

Outdoor circuit-breakers shall be designed to withstand and operate correctly when mechanically loaded by stresses resulting from ice, wind and connected conductors. If required, this capability is demonstrated by means of calculations.

Ice coating and wind pressure on the circuit-breaker shall be in accordance with 2.1.2 of IEC 62271-1.

Some examples of static forces due to wind, ice and weight on flexible and tubular connected conductors are given as a guidance in Table 14.

The tensile force due to the connected conductors is assumed to act at the outermost end of the circuit-breaker terminal.

The manufacturer shall consider that these forces can be applied simultaneously.

**Table 14 – Examples of static horizontal and vertical forces for static terminal load test**

| Rated voltage range<br>$U_r$<br>kV | Rated current range<br>$I_r$<br>A | Static horizontal force<br>$F_{th}$ |                               | Static vertical force<br>$F_{tv}$<br>N |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
|                                    |                                   | Longitudinal<br>$F_{thA}$<br>N      | Transversal<br>$F_{thB}$<br>N |                                        |
| < 100                              | 800 to 1 250                      | 500                                 | 400                           | 500                                    |
| < 100                              | 1 600 to 2 500                    | 750                                 | 500                           | 750                                    |
| 100 to 170                         | 1 250 to 2 000                    | 1 000                               | 750                           | 750                                    |
| 100 to 170                         | 2 500 to 4 000                    | 1 250                               | 750                           | 1 000                                  |
| 245 to 362                         | 1 600 to 4 000                    | 1 250                               | 1 000                         | 1 250                                  |
| 420 to 800                         | 2 000 to 4 000                    | 1 750                               | 1 250                         | 1 500                                  |
| 1 100 to 1 200                     | 4 000 to 6 300                    | 3 500                               | 3 000                         | 2 500                                  |

## 6 Type tests

Move the text currently under 6 (including Table 11 modified by Amendment 1) between 6.1 and 6.1.1.

Delete, in the second paragraph, the second sentence "The number of test samples..."

Replace the fifth paragraph starting with "The uncertainty....." and the note by the following:

The expanded uncertainty of a complete measuring system for determination of the ratings (for example short-circuit current, applied voltage and recovery voltage) shall be  $\leq 5\%$ , evaluated with a coverage probability of 95 % corresponding to a coverage factor  $k = 2$  under the assumption of a normal distribution.

NOTE Procedures for the determination of the uncertainty of measurements are given in ISO/IEC Guide 98-3 [6].

Add, before Table 11 modified by Amendment 1, the following paragraph:

If the circuit-breaker can be equipped with other operating mechanisms, complete type tests according to Table 11 shall be performed on the circuit-breaker equipped with one type of operating mechanism. The other operating mechanisms are considered being alternative operating mechanisms as defined in 3.5.126, provided they fulfil the related requirements as defined in 6.102.7. Tests to be repeated for alternative mechanisms are defined in 6.1.102.

## Table 11 – Type tests

Replace the table, modified by Amendment 1, by the following:

| Mandatory type tests                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                         | Subclauses             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Dielectric tests                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                         | 6.2                    |
| Measurement of the resistance of the 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 (class M1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                         | 6.101.2.1 to 6.101.2.3 |
| Short-circuit current making and breaking tests                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                         | 6.102 to 6.106         |
| Type tests depending on requirements                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Condition requiring type test                                                           | Subclauses             |
| Radio interference voltage tests                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $U_r \geq 245$ kV                                                                       | 6.3                    |
| Verification of the degree of protection                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Assigned IP class                                                                       | 6.7                    |
| Tightness test                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Controlled, sealed or closed pressure systems                                           | 6.8                    |
| EMC tests                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Electronic equipment or components are included in the secondary system                 | 6.9                    |
| X-ray radiation test                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Vacuum circuit-breaker                                                                  | 6.11                   |
| Extended mechanical endurance tests on circuit-breakers for special service conditions                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Class M2 rating assigned                                                                | 6.101.2.4              |
| Low and high temperature tests                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | As required                                                                             | 6.101.3                |
| Humidity test                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Insulation subject to voltage stress and condensation                                   | 6.101.4                |
| Critical current tests                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Circuit-breaker performance against conditions in 6.107.1                               | 6.107                  |
| Short-line fault tests                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $U_r \geq 15$ kV and $I_{sc} > 12,5$ kA, in case of direct connection to overhead lines | 6.109                  |
| Out-of-phase making and breaking tests                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Out-of-phase rating assigned                                                            | 6.110                  |
| Electrical endurance tests (only for $U_r \leq 52$ kV)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Class E2 rating assigned                                                                | 6.112                  |
| Test to prove operation under severe ice conditions                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Outdoor circuit-breakers with moving external parts and ice thickness 10 mm / 20mm      | 6.101.5                |
| Single-phase fault test                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Effectively earthed neutral systems                                                     | 6.108                  |
| Double earth fault test                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Non-effectively earthed neutral systems                                                 |                        |
| Capacitive current switching tests:<br>– line-charging current breaking tests<br>– cable-charging current breaking tests<br>– single capacitor bank switching tests<br>– back-to-back capacitor bank switching tests                                                                                                                                                                                                                       | Relevant rating and classification (C1 or C2) assigned                                  | 6.111                  |
| Switching of shunt reactors and motors                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | As specified                                                                            | IEC 62271-110          |
| Mandatory type tests, shown in the upper part of the table, are required for all circuit-breakers regardless of rated voltage, design or intended use. Other type tests, shown in the lower part of the table, are required for all circuit-breakers where the associated rating is specified, e.g. out-of-phase switching, or where a specific condition is met, for example RIV is required only for rated voltages of 245 kV and above. |                                                                                         |                        |

Add, after Table 12, the following new subclause:

#### 6.1.102 Type tests to repeat for circuit-breakers with alternative operating mechanisms

The following type tests shall be repeated on circuit-breakers with alternative operating mechanisms:

- mechanical operation tests at ambient temperature (according to 6.101.2);
- high and low temperature tests (according to 6.101.3);
- short-circuit making and breaking tests (as defined in 6.102.7);

- short-time withstand current and peak withstand current tests on circuit-breakers having main contacts of the butt type (according to 6.6).

#### **6.2.11 Voltage test as a condition check**

*Add, after the paragraph that starts with “Where after mechanical or environmental tests...” added by Amendment 1, the following sentences:*

For multi-unit live tank circuit-breakers with identical units according to 6.102.4.2.3 the voltage test as a condition check may be performed as unit test.

*Add, after 6.10.5, the following new subclauses:*

#### **6.10.6 Dielectric test**

Subclause 6.10.6 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

- the dielectric test shall be performed on the auxiliary and control circuits in new condition;
- during the test the motor(s) shall be disconnected, provided that it was or they were tested separately.

NOTE Repetition of dielectric tests on motor(s) results in accelerated ageing of the motor.

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

Subclause 6.11 of IEC 62271-1 is applicable.

##### **6.101.1.1 Mechanical characteristics**

*Replace the entire text of this subclause by the following:*

At the beginning of the type tests, the mechanical characteristics of the circuit-breaker shall be established. IEC TR 62271-306 gives examples on how to measure the mechanical characteristics. The mechanical characteristics will serve as the reference for the purpose of characterising the mechanical behaviour of the circuit-breaker. Furthermore, the mechanical characteristics shall be used to confirm that the different test samples used during the mechanical, making, breaking and switching type tests behave mechanically in a similar way. The reference mechanical characteristics are also used to confirm that production units behave mechanically in a similar way compared to the test samples used during type tests.

Following is an example of operating characteristics that can be recorded:

- no-load travel curves;
- closing and opening times;
- other mechanical parameters, if necessary.

The mechanical characteristics shall be produced during a no-load test made with a single O operation and a single C operation at rated supply voltage of operating devices and of auxiliary and control circuits, rated functional pressure for operation and, for convenience of testing, at the minimum functional pressure for interruption.

Annex N gives requirements and explanation on the use of mechanical characteristics.

##### **6.101.1.4 Condition of the circuit-breaker during and after the tests**

*Add, at the end of the list, the following new dashed item:*

- the increase of the resistance of the main circuit is less than or equal to 20 %. If the increase in resistance exceeds 20 % then a temperature rise test is applicable to determine if the

test object can carry its rated normal current without exceeding the temperature limits given in Table 3 of IEC 62271-1 by more than 10 K.

#### **6.101.2.1 General**

*Replace the last paragraph by the following:*

During the test, lubrication of parts outside of the main circuit is allowed in accordance with the manufacturer's instructions, but no mechanical adjustment or other kind of maintenance is allowed.

#### **6.101.2.4 Extended mechanical endurance tests on class M2 circuit-breakers for special service requirements**

*Replace the second dashed item by the following:*

- between the test series specified, some maintenance, such as lubrication and mechanical adjustment, is allowed, and shall be performed in accordance with the manufacturer's instructions. Only change of parts outside of the main circuit and not being part of the kinematic chain, that are listed in the program of maintenance, is permitted;

#### **6.101.3.1 General**

*Add, after NOTE 2, the following text:*

For dead-tank circuit-breakers equipped with tank heater(s) for the purpose of avoiding gas liquefaction during low ambient temperature conditions, the test sequence prescribed in 6.101.3.3 is not sufficient to demonstrate that the gas heating element is properly designed to avoid gas liquefaction during low ambient temperature conditions. For such circuit-breakers, the test sequence prescribed in 6.101.3.3 shall be performed with a simulation of an average wind speed of 10 km/h ( $\pm 20$  %) applied perpendicularly to the longitudinal axis of an outer phase of the circuit-breaker. The wind shall be applied from step c) to j) of the test procedure described in 6.101.3.3.

The wind speed shall be measured by at least 5 positions along the longitudinal axis of the circuit-breaker and at a distance of 0,5 m ( $\pm 0,1$  m) to the outer circuit-breaker tank (see Figure 59). Each measurement shall be spaced by approximately 0,3 m. The number of measurements shall be such that the measurement length exceeds the circuit-breaker length by at least 0,5 m on each end. The wind speed for each of the individual measurement shall be within  $\pm 50$  % of the average wind value.

It is recognised that the wind speed measurements in relatively small climatic room (in relation to the circuit-breaker dimensions) can be difficult and that wind turbulences from the neighbouring test cell walls cannot be avoided. In such cases, greater deviations as required above should be accepted.

The application of a transversal wind may make the measurement of the gas tightness impossible. If this is the case, it is allowed to split the low temperature test procedure in two parts. After having performed the required test sequence with the simulation of the transversal wind, the low temperature test sequence shall be repeated, without transverse wind and without gas heater, at low temperature  $T_L$  equal to or lower than the lowest temperature measured during the first test on the circuit-breaker tank surface close to sealing joints. A minimum of ten temperature measuring points shall be used to measure the tank surface temperature close to sealing joints.

#### **6.101.4.1 General**

*Replace, in the second paragraph, the word "specimen" by "object".*

### 6.101.6 Static terminal load test

*Delete this subclause, modified by Amendment 1, including its title and Table 14.*

### 6.102 Miscellaneous provisions for making and breaking tests

*Replace subclauses 6.102.1 and 6.102.2 modified by Amendment 1 by the following:*

#### 6.102.1 General

The following subclauses are applicable to all making and breaking tests unless otherwise specified in the relevant clauses.

Where applicable, prior to the commencement of the tests, the manufacturer shall declare the values of

- minimum conditions of the operating mechanism guaranteeing the rated operating sequence (for example the minimum functional pressure for operation in case of a hydraulic operating mechanism);
- minimum conditions of the interrupting device guaranteeing the rated operating sequence (for example the minimum functional pressure for interruption in case of a SF<sub>6</sub> circuit-breaker).

#### 6.102.2 Additional requirements

Circuit-breakers shall be capable of making and breaking all short-circuit currents, symmetrical and asymmetrical, up to and including the rated short-circuit breaking currents: this is demonstrated, when the circuit-breakers make and break the specified three-phase symmetrical and asymmetrical currents between 10 % (or such lower currents as specified in 6.107.2 if 6.107.1 is applicable) and 100 % of the rated short-circuit breaking current at rated voltage.

In addition, circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,2$  or  $1,3$  shall be capable of breaking single-phase short-circuit currents (see 6.108). Furthermore, circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,5$  shall be capable of breaking short-circuit currents in case of double earth faults (see 6.108).

Making and breaking tests according to class S2 cover making and breaking tests according to class S1.

Circuit-breakers to which any capacitive current switching rating has been assigned shall be capable of switching capacitive currents up to and including the rated capacitive switching current at a voltage level up to and including the specified one (see 6.111.7). This is demonstrated when the circuit-breakers switch the rated capacitive switching current at the specified test voltage.

Three-phase making and breaking requirements should preferably be proved in three-phase circuits.

If the tests are carried out in a laboratory, the applied voltage, current, transient and power-frequency recovery voltages may all be obtained from a single power source (direct tests) or from several sources where all of the current, or a major portion of it, is obtained from one source, and the TRV is obtained wholly or in part from one or more separate sources (synthetic tests).

If, due to limitations of the testing facilities, the short-circuit performance of the circuit-breaker cannot be proved in the above way, several methods employing either direct or synthetic test methods may be used either singly or in combination, depending on the circuit-breaker type:

- a) single-pole testing (see 6.102.4.1);

- b) unit testing (see 6.102.4.2);
- c) multi-part testing (see 6.102.4.3).

The operating time of some circuit-breakers may vary when the supply voltage to the coils is at the minimum value specified in 5.8 of IEC 62271-1, while the operating times are reasonably constant at their rated supply voltages. Performing a test duty with correct arcing times can be difficult to achieve in such a case, especially where steps of 18 electrical degrees need to be made to prove the arcing window. Additionally, the scattering of the closing time may prevent the possibility to perform the making test with the rated short-circuit making current.

For circuit-breakers where the operation of the coils does not affect contact travel characteristics, it is permitted to increase the supply voltage of the coils from the minimum value to 110 % of the rated supply voltage. No-load operations performed at the rated and minimum supply voltage shall be included in the test report to show that the contact travel characteristics are not affected by the increased voltage of the coil.

At least one making and one breaking operation shall be performed for test-duty T100s with minimum supply voltage to prove the ability of the circuit-breaker to operate correctly up to its rated short-circuit current under minimum control voltage conditions.

#### **6.102.4.1 Single-phase testing of a single pole of a three-pole circuit-breaker**

*Add, at the end of the subclause, the following new paragraph:*

When testing a circuit-breaker for 50 Hz and 60 Hz, verification tests need only to be performed at 50 Hz or 60 Hz, provided the following two conditions are met:

- the arcing time for breaking shall be the longest expected arcing time in the last-pole-to-clear at 50 Hz;
- during the making operation with asymmetrical current the rated short-circuit making current for 60 Hz shall be achieved.

#### **6.102.4.2.2 Voltage distribution**

*Replace the paragraph below NOTE 2 by the following paragraph:*

Where short-line fault tests are performed with unit test method, both source and line side TRV shall be determined with the single voltage distribution factor, corresponding to the voltage distribution of the line side TRV.

#### **6.102.4.3 Multi-part testing**

*Replace the existing text with the following:*

If all recovery voltage requirements for the given test-duty cannot be met simultaneously, the test may be carried out in two successive parts, for example as illustrated in Figure 43.

In the test circuit used for the first part, the initial portion of the TRV shall not cross the straight line defining the delay time and shall meet the specified reference line up to the voltage  $u_1$  and the time  $t_1$ .

In the test circuit used for the second part, the voltage  $u_c$  and the time  $t_2$  shall be attained.

Multi-part testing may also be carried out in order to obtain the power frequency recovery voltage of  $\frac{U_r}{\sqrt{3}}$  for terminal fault after one half-cycle of rated frequency during single-phase tests in substitution for three-phase tests as specified in 6.104.7 b).

The number of tests for each part shall be the same as the number required for the test-duty, and the arcing times for each part shall meet the requirements of 6.102.10. The arcing times in separate tests forming part of one multi-part test shall be the same with a tolerance of  $\pm 1$  ms. Moreover if the minimum arcing time in one part differs from that established in the other part by more than 1 ms then the maximum arcing time associated with the longer of the two minimum arcing times shall be used for both parts.

When multi-part testing is used to separately meet the requirements for TRV and for the power frequency recovery voltage, during tests with power frequency recovery voltage it is not necessary to search for the minimum arcing time. Arcing times shall be based on the minimum arcing time obtained during tests with TRV.

The circuit-breaker may be re-conditioned between the parts of the multi-part testing procedure in accordance with 6.102.9.5.

In rare cases, it may be necessary to perform the test in more than two parts. In such cases, the principles stated above shall be applied.

#### **6.102.6 No-load operations before tests**

*Replace the existing text by the following:*

Before commencing making, breaking and switching tests, C and O operations shall be made and the mechanical characteristics recorded. Details such as closing time and opening time shall be recorded. For these no-load operations, conditions stated in 6.101.1.1 apply. Additional no-load operations may be necessary (see also 6.102.3.1).

In addition, it shall be demonstrated that the mechanical behaviour of the circuit-breaker under test, conforms to that of the reference mechanical travel characteristics required in 6.101.1.1. After a change of contacts or any kind of maintenance, these mechanical travel characteristics shall be reconfirmed by repeating these no-load tests.

For a circuit-breaker fitted with a making current release, it shall be shown that this does not operate on no-load.

The pressure of the compressed gas for interruption shall be set at the value corresponding to that required for the test-duty to be performed.

For electrically or spring-operated circuit-breakers, operations shall be made with the closing solenoid or shunt-closing releases energised at 100 % and 85 % of the rated supply voltage of the closing device and with the shunt-opening release energised at 100 % and 85 % in the case of a.c., and 100 % and 70 % in the case of d.c. of the rated supply voltage.

#### **6.102.7 Alternative operating mechanisms**

*Replace existing text with following:*

In this subclause, it is considered that one version of the circuit-breaker using an original operating mechanism, is completely type-tested in accordance with this standard; this version is referred to as the completely tested circuit-breaker. The other versions, differing in the operating mechanisms (see definition in 3.5.124), are referred to as circuit-breakers with alternative operating mechanisms.

For a circuit-breaker equipped with alternative operating mechanisms, repetition of T100s and T100a (if required in c) below) only is required for the demonstration of the making, breaking and switching capabilities.

Therefore, the tests to be performed on the circuit-breaker equipped with the alternative operating mechanism are as follows:

- a) the mechanical characteristics shall be recorded and compared with the completely tested circuit-breaker in accordance with 6.101.1.1 and comply with the requirements given in Annex N;
- b) test-duty T100s shall be performed. In addition the mechanical characteristics during the breaking operations with the longest arcing time shall be compared with the completely tested circuit-breaker according to the method prescribed in 6.101.1.1 and comply with the requirements given in Annex N;
- c) in the particular case where the minimum clearing time (see 3.7.159) is shorter, test-duty T100a shall be performed.

If requirements a), b), and c) are met, the reference mechanical characteristics of the completely tested circuit-breaker shall apply also for the circuit-breakers equipped with alternative operating mechanisms.

#### **6.102.8 Behaviour of circuit-breaker during tests**

*Add, just before the paragraph starting with "NSDDs may occur.....", the following paragraph:*

Resumption of power-frequency current in any pole more than one cycle after interruption of the short-circuit in all poles is a failure.

#### **6.102.9.2 Condition after short-circuit test duty**

*Replace the first paragraph by the following:*

After each short-circuit test-duty, the circuit-breaker shall be capable of making and breaking its rated normal current at the rated voltage, although its short-circuit making and breaking performance may be impaired.

After test-duty  $L_{90}$  a condition check according to 6.2.11 shall be performed to verify the voltage withstand of the circuit-breaker. If no short-line fault rating is assigned, the condition check shall be carried out after test-duty T100s as follows:

- in case of a single-phase test the condition check shall be carried out on the pole tested;
- in case of three-phase tests the condition check shall be carried out on the pole that was subjected to the maximum arcing time with an extended loop;
- terminals to which no test voltage is applied shall be earthed during the condition check.

*Replace the first and second sentences of the second paragraph by the following:*

If interrupter units are placed in an insulating fluid with different characteristics and other than air at atmospheric pressure, that also might withstand the test voltages when replacing the original arc extinguishing medium (for example a vacuum interrupter unit in an enclosure filled with  $SF_6$ ) the condition checking test, as requested in 6.2.11 may not be adequate to verify the integrity of the device. In such cases short-circuit breaking tests in a circuit which supplies at least 10 % of the rated short-circuit breaking current and at least 50 % of the rated voltage shall be made in addition.

*Replace the two indents by the following:*

- if performed three-phase in a circuit with effectively or solidly earthed neutral, one opening operation shall be performed with both the source side neutral and the short-circuit point earthed;
- if performed three-phase in a circuit with non-effectively earthed neutral, three opening operations shall be performed. The first-pole-to-clear conditions have to be demonstrated for each pole of the circuit-breaker;
- if performed single-phase, one opening shall be performed. The test has to be repeated on each pole.

### 6.102.9.3 Condition after a short-circuit test series

*Replace the first paragraph by the following:*

In order to check the operation of the circuit-breaker after a short-circuit test series, the no-load operating sequence of 6.102.6 shall be repeated at the completion of the entire test series of short-circuit or switching tests. These no-load tests shall be compared with the corresponding operations made in accordance with 6.102.6. The requirements of 6.101.1.1 and of Annex N shall be fulfilled. The circuit-breaker shall close and latch satisfactorily.

### 6.102.9.4 Condition after a capacitive current switching test series

*Add the following new paragraph before the first existing paragraph:*

In order to check the operation of the circuit-breaker after a capacitive current switching test series, the no-load operating sequence of 6.102.6 shall be repeated at the completion of the entire test series of short-circuit or switching tests. These no-load tests shall be compared with the corresponding operations made in accordance with 6.102.6. The requirements of 6.101.1.1 and of Annex N shall be fulfilled. The circuit-breaker shall close and latch satisfactorily.

### 6.102.10 Demonstration of arcing times

*Replace the existing subclause modified by Amendment 1, including tables and figures up to Table 23 included, by the following:*

### 6.102.10 Demonstration of arcing times

#### 6.102.10.1 General

The requirements described in this subclause are relevant for the adjustment of prospective arcing times. The actual arcing times may vary from the prospective ones. Tests are valid as long as the actual arcing times are within the tolerances given in Annex B.

The terminal fault tests T100a in 6.102.10.2.2 and 6.102.10.3.3 consist of three valid breaking operations independent of the rated operating sequence.

**NOTE** The arcing times prescribed in this subclause are adequate to cover the effect of the unintentional non-simultaneity of the circuit-breaker poles.

Throughout this subclause the following symbols are used:

- $T$  is the duration of one cycle of rated frequency;
- $t_{a100s}$  in case of a three-phase test  $t_{a100s}$  is the minimum of the arcing times of any first-poles-to-clear during the breaking operations of test-duty T100s;  
in case of a single-phase test  $t_{a100s}$  is the minimum arcing time of terminal fault test-duty T100s;
- $d\alpha = 18^\circ$ ;
- $\tau$  is the DC time constant of the rated short-circuit breaking current;

- $\hat{I}$  is the p.u. value of the peak current of the first-pole-to-clear, the last-pole-to-clear for  $k_{pp} = 1,5$  and the second-pole-to-clear for  $k_{pp} = 1,3$  or  $1,2$  related to the peak value of the symmetrical short-circuit current;
- $\Delta t_1$  is the duration of the major loop of the first-pole-to-clear;
- $\Delta t_2$  is the duration of the extended major loop of the last-pole-to-clear for  $k_{pp} = 1,5$ ;
- $\Delta t_3$  is the duration of the extended major loop of the second-pole-to-clear for  $k_{pp} = 1,3$  or  $1,2$ ;
- $\Delta t_{a1}$  is the time interval between the moment of current interruption in the first-pole-to-clear after a major loop with the required asymmetry and the moment of the first preceding current zero;
- $\Delta t_{a2}$  is the time interval between the moment of current interruption in the last-pole-to-clear after an extended major loop with the required asymmetry for  $k_{pp} = 1,5$  and the moment of the second preceding current zero;
- $\Delta t_{a3}$  is the time interval between the moment of current interruption in the second-pole-to-clear after an extended major loop with the required asymmetry for  $k_{pp} = 1,3$  or  $1,2$  and the moment of the second preceding current zero.

For explanation of  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ ,  $\Delta t_3$ ,  $\Delta t_{a1}$ ,  $\Delta t_{a2}$  and  $\Delta t_{a3}$  see Figure 60.

## 6.102.10.2 Three-phase tests

### 6.102.10.2.1 Test-duty T10, T30, T60, T100s, T100s(b)

For these tests, the tripping impulse shall be advanced by 40 electrical degrees ( $40^\circ$ ) between each opening operation. For T100s(b), see note in 6.106.

A graphical representation of an example of the three valid breaking operations for the first-pole-to-clear factor 1,5 is given in Figure 29 and for the first-pole-to-clear factor 1,3 or 1,2 in Figure 30.

### 6.102.10.2.2 Test-duty T100a

The initiation of the short-circuit shall be changed between tests in order to transfer the required asymmetry criteria from phase to phase.

The breaking operations are valid if the prospective current meets the following asymmetry criteria:

- the peak short-circuit current  $\hat{I}$  during the last loop prior to interruption is between 90 % and 110 % of the required value and
- the duration of the short-circuit current loop  $\Delta t$  prior to interruption is between 90 % and 110 % of the required value.

Tables 39 and 40 give the required prospective values of the peak short-circuit current and loop duration that shall be attained by the last major loop prior to the interruption. In these tables the  $k_{pp}$  factors of 1,3 and 1,2 are combined because of very small differences in arcing time requirements.

When the last current loop parameters are within the prescribed tolerances, the resulting deviations on the DC component at current zero, the associated  $di/dt$  and the following TRV peak value are within acceptable limits compared to those calculated with rated values.

The intention is to achieve three valid tests and the duty is satisfactory if following conditions are met. There is no preferred order to demonstrate the three valid tests.

- a) One operation where arc extinction occurs in the first-pole-to-clear at the end of a major current loop in the phase with the required asymmetry criteria and with the longest possible arcing time.

The longest possible arcing time  $t_{arc1}$  for the first-pole-to-clear is achieved, when following condition is met:

$$t_{arc1} = (t_{a100s} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}) + \Delta t_{a1}$$

- b) One operation where arc extinction occurs at the end of an extended major current loop in the last-pole-to-clear or in the second-pole-to-clear with the required asymmetry criteria and with the longest possible arcing time.

- The longest possible arcing time  $t_{arc2}$  for the last-pole-to-clear for circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,5$  is achieved, when following condition is met:

$$t_{arc2} = (t_{a100s} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}) + \Delta t_{a2}$$

- The longest possible arcing time  $t_{arc3}$  for the second-pole-to-clear for circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,3$  or  $1,2$  is achieved, when following condition is met:

$$t_{arc3} = (t_{a100s} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}) + \Delta t_{a3}$$

- c) If the required conditions of a) and b) are fulfilled in a third operation, arc extinction may occur at the end
- of a major current loop for first-pole-to-clear conditions, or
  - of an extended major current loop for last-pole-to-clear conditions for circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,5$ , or
  - of an extended major current loop for second-pole-to-clear conditions for circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,3$  or  $1,2$ .

There are no further requirements regarding arcing times.

$\Delta t_{a1}$ ,  $\Delta t_{a2}$  and  $\Delta t_{a3}$  are the relevant time parameters to be selected from Tables 39 and 40.

The conditions for current interruption in test-duty T100a for the last-pole-to-clear for circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,3$  or  $1,2$  are covered by the tests in test-duty T100s.

Some circuit-breakers will not clear at the end of a major loop after the required arcing time. However, this test is valid if the circuit-breaker cleared the subsequent minor current loop and it is proven that the longest possible arc-duration was achieved.

If the behaviour of the circuit-breaker is such that the required conditions of a) and b) are not fulfilled, the relevant tests shall be continued by changing the tripping of the circuit-breaker in steps of  $18^\circ$ . If during tests the required arcing times are not achieved because of minimum arcing times differing from  $t_{a100s}$  the maximum achievable arcing times shall be demonstrated. The total number of tests is limited to 6, when attempting to meet the above mentioned requirements. The test duty is valid no matter which arcing times have been obtained.

The circuit-breaker may be reconditioned with renewable parts or replaced by a second one before the extended operations (see 6.102.9.5).

A graphical representation of an example of the three valid breaking operations for the first-pole-to-clear factor  $k_{pp} = 1,5$  is given in Figure 31 and for the first-pole-to-clear factor  $k_{pp} = 1,3$  or  $1,2$  in Figure 32.

**Table 39 – Last current loop parameters in three-phase tests  
and in single-phase tests in substitution for three-phase conditions  
in relation with short-circuit test-duty T100a – Tests for 50 Hz operation**

| $\tau$<br>ms | Minimum<br>clearing time<br>ms | $\hat{I}$<br>p.u. | $k_{pp} = 1,5, 1,3 \text{ or } 1,2$ |                       | $k_{pp} = 1,5$     |                       | $k_{pp} = 1,3 \text{ or } 1,2$ |                       |
|--------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
|              |                                |                   | $\Delta t_1$<br>ms                  | $\Delta t_{a1}$<br>ms | $\Delta t_2$<br>ms | $\Delta t_{a2}$<br>ms | $\Delta t_3$<br>ms             | $\Delta t_{a3}$<br>ms |
| 45           | $10,0 < t \leq 27,0$           | 1,52              | 13,6                                | 4,1                   | 15,0               | 10,6                  | 14,4                           | 10,0                  |
|              | $27,0 < t \leq 47,5$           | 1,33              | 12,2                                | 3,8                   | 13,7               | 9,8                   | 13,1                           | 9,1                   |
|              | $47,5 < t \leq 68,0$           | 1,21              | 11,4                                | 3,7                   | 12,9               | 9,2                   | 12,3                           | 8,6                   |
| 60           | $10,0 < t \leq 27,0$           | 1,61              | 14,2                                | 4,3                   | 15,6               | 11,1                  | 15,1                           | 10,5                  |
|              | $27,0 < t \leq 47,5$           | 1,44              | 12,9                                | 4,0                   | 14,3               | 10,2                  | 13,8                           | 9,6                   |
|              | $47,5 < t \leq 67,5$           | 1,31              | 12,1                                | 3,8                   | 13,6               | 9,7                   | 12,9                           | 9,1                   |
|              | $67,5 < t \leq 88,0$           | 1,22              | 11,4                                | 3,7                   | 13,0               | 9,3                   | 12,3                           | 8,6                   |
| 75           | $10,0 < t \leq 27,0$           | 1,67              | 14,8                                | 4,4                   | 16,1               | 11,3                  | 15,6                           | 10,8                  |
|              | $27,0 < t \leq 47,5$           | 1,51              | 13,4                                | 4,2                   | 14,9               | 10,6                  | 14,3                           | 10,0                  |
|              | $47,5 < t \leq 67,5$           | 1,39              | 12,6                                | 3,9                   | 14,1               | 10,1                  | 13,4                           | 9,4                   |
|              | $67,5 < t \leq 87,5$           | 1,30              | 12,0                                | 3,8                   | 13,5               | 9,7                   | 12,8                           | 9,0                   |
|              | $87,5 < t \leq 108,0$          | 1,23              | 11,5                                | 3,7                   | 13,1               | 9,3                   | 12,4                           | 8,7                   |
| 120          | $10,0 < t \leq 27,0$           | 1,78              | 15,7                                | 4,8                   | 17,0               | 11,9                  | 16,6                           | 11,4                  |
|              | $27,0 < t \leq 47,0$           | 1,66              | 14,6                                | 4,4                   | 15,9               | 11,3                  | 15,3                           | 10,8                  |
|              | $47,0 < t \leq 67,5$           | 1,56              | 13,8                                | 4,3                   | 15,2               | 10,8                  | 14,6                           | 10,3                  |
|              | $67,5 < t \leq 87,5$           | 1,47              | 13,2                                | 4,1                   | 14,6               | 10,4                  | 14,0                           | 9,8                   |
|              | $87,5 < t \leq 108,0$          | 1,40              | 12,6                                | 4,0                   | 14,1               | 10,1                  | 13,5                           | 9,5                   |

**Table 40 – Last current loop parameters in three-phase tests  
and in single-phase tests in substitution for three-phase conditions  
in relation with short-circuit test-duty T100a – Tests for 60 Hz operation**

| $\tau$<br>ms | Minimum<br>clearing time<br>ms | $\hat{I}$<br>p.u. | $k_{pp} = 1,5, 1,3 \text{ or } 1,2$ |                       | $k_{pp} = 1,5$     |                       | $k_{pp} = 1,3 \text{ or } 1,2$ |                       |
|--------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
|              |                                |                   | $\Delta t_1$<br>ms                  | $\Delta t_{a1}$<br>ms | $\Delta t_2$<br>ms | $\Delta t_{a2}$<br>ms | $\Delta t_3$<br>ms             | $\Delta t_{a3}$<br>ms |
| 45           | $8,5 < t \leq 22,5$            | 1,58              | 11,6                                | 3,5                   | 12,8               | 9,1                   | 12,4                           | 8,6                   |
|              | $22,5 < t \leq 39,5$           | 1,40              | 10,5                                | 3,3                   | 11,8               | 8,4                   | 11,2                           | 7,9                   |
|              | $39,5 < t \leq 56,5$           | 1,27              | 9,8                                 | 3,1                   | 11,1               | 7,9                   | 10,6                           | 7,4                   |
|              | $56,5 < t \leq 73,0$           | 1,19              | 9,3                                 | 3,0                   | 10,7               | 7,6                   | 10,1                           | 7,1                   |
| 60           | $8,5 < t \leq 22,5$            | 1,66              | 12,2                                | 3,7                   | 13,3               | 9,4                   | 12,9                           | 9,0                   |
|              | $22,5 < t \leq 39,5$           | 1,50              | 11,1                                | 3,4                   | 12,4               | 8,8                   | 11,8                           | 8,3                   |
|              | $39,5 < t \leq 56,5$           | 1,38              | 10,4                                | 3,3                   | 11,7               | 8,3                   | 11,2                           | 7,8                   |
|              | $56,5 < t \leq 73,0$           | 1,29              | 9,9                                 | 3,1                   | 11,2               | 8,0                   | 10,6                           | 7,5                   |
|              | $73,0 < t \leq 90,0$           | 1,22              | 9,5                                 | 3,1                   | 10,8               | 7,7                   | 10,2                           | 7,2                   |
| 75           | $8,5 < t \leq 22,5$            | 1,72              | 12,6                                | 3,8                   | 13,7               | 9,6                   | 13,3                           | 9,2                   |
|              | $22,5 < t \leq 39,5$           | 1,57              | 11,6                                | 3,6                   | 12,8               | 9,1                   | 12,3                           | 8,6                   |
|              | $39,5 < t \leq 56,0$           | 1,46              | 10,9                                | 3,4                   | 12,1               | 8,6                   | 11,6                           | 8,1                   |
|              | $56,0 < t \leq 73,0$           | 1,37              | 10,3                                | 3,2                   | 11,6               | 8,3                   | 11,1                           | 7,8                   |
|              | $73,0 < t \leq 90,0$           | 1,30              | 9,9                                 | 3,1                   | 11,2               | 8,0                   | 10,7                           | 7,5                   |
|              | $90,0 < t \leq 106,5$          | 1,24              | 9,6                                 | 3,1                   | 10,9               | 7,8                   | 10,4                           | 7,3                   |
| 120          | $8,5 < t \leq 22,5$            | 1,81              | 13,4                                | 4,1                   | 14,4               | 10,1                  | 14,1                           | 9,7                   |
|              | $22,5 < t \leq 39,0$           | 1,71              | 12,5                                | 3,8                   | 13,6               | 9,6                   | 13,2                           | 9,2                   |
|              | $39,0 < t \leq 56,0$           | 1,62              | 11,8                                | 3,7                   | 13,0               | 9,3                   | 12,5                           | 8,8                   |
|              | $56,0 < t \leq 73,0$           | 1,54              | 11,3                                | 3,5                   | 12,5               | 8,9                   | 12,0                           | 8,5                   |
|              | $73,0 < t \leq 89,5$           | 1,47              | 10,9                                | 3,4                   | 12,1               | 8,7                   | 11,6                           | 8,1                   |
|              | $89,5 < t \leq 106,5$          | 1,41              | 10,6                                | 3,3                   | 11,8               | 8,4                   | 11,3                           | 7,9                   |

#### 6.102.10.2.3 Tests for covering the conditions for $k_{pp} = 1,3$ and $k_{pp} = 1,5$

In order to cover the performance for  $k_{pp} = 1,3$  and  $k_{pp} = 1,5$ , two separate series of duties with their specific earthing of test circuits as described in 6.103.3 should be performed.

If a complete series of test-duties demonstrating the circuit-breaker performance for  $k_{pp} = 1,5$  is already performed, it is not necessary to repeat all terminal fault test-duties prescribed by this standard for demonstrating the performance of the circuit-breaker for  $k_{pp} = 1,3$ . In that case, test-duties T100s and T100a shall be repeated with a test-circuit simulating the earthing condition of an effectively earthed neutral system ( $k_{pp} = 1,3$ , see 6.103.3).

The repetition of test-duties T100s and T100a with a three-phase circuit for an effectively earthed neutral system can, as an alternative, be replaced by additional single-phase tests specified below. In this case the three-phase verification test according to 6.102.4.1 is not required. Single-phase tests are allowed for all types of circuit-breakers except for metal enclosed circuit-breakers with three phases in one enclosure where direct gas dynamic interaction between phases is involved, as per 6.102.3.2 and O.4.1.

The tests shall be carried with the following parameters:

- a first test shall demonstrate the performance of the second-pole-to-clear under symmetrical fault conditions in an effectively earthed neutral system. The arcing time shall be set to:

$$t_{\text{arc}} = t_{\text{a100s}} + T \times \frac{119^\circ}{360^\circ}$$

The TRV parameters shall be adjusted in accordance with Table 41.

The test voltage is  $1,26 \times \frac{U_r}{\sqrt{3}}$  and may be reduced to  $U_r/\sqrt{3}$  after one half cycle of rated frequency after current interruption.

**Table 41 – TRV parameters for single-phase tests in substitution for three-phase tests to demonstrate the interruption of the second-pole-to-clear for  $k_{\text{pp}} = 1,3$**

| $k_{\text{pp}}$                                                                                    | Rated voltage                                                           |                                           |                                                    |                                  |                                                                         |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                                                                                    | $U_r < 100 \text{ kV}$<br>2-parameter-TRV                               |                                           | $U_r \geq 100 \text{ kV}$<br>4-parameter-TRV       |                                  |                                                                         |                   |
|                                                                                                    | $u_{\text{c,sp}}$                                                       | $t_{3,\text{sp}}$                         | $u_{1,\text{sp}}$                                  | $t_{1,\text{sp}}$                | $u_{\text{c,sp}}$                                                       | $t_{2,\text{sp}}$ |
| <b>1,3</b>                                                                                         | $1,26 \times k_{\text{af}} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_r$ | $t_3 \times u_{\text{c,sp}}/u_{\text{c}}$ | $0,95 \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_r$ | $t_1 \times u_{1,\text{sp}}/u_1$ | $1,26 \times k_{\text{af}} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_r$ | a                 |
| <sup>a</sup> $4 \times t_{1,\text{sp}}$ for rated voltages from 100 kV up to and including 800 kV. |                                                                         |                                           |                                                    |                                  |                                                                         |                   |

- a second test shall demonstrate the performance of the third-pole-to-clear under symmetrical fault conditions in an effectively earthed neutral system. The arcing time shall be set to:

$$t_{\text{arc}} = t_{\text{a100s}} + T \times \frac{162^\circ}{360^\circ}$$

The TRV-parameters have to be adjusted according to Table 42:

**Table 42 – TRV parameters for single-phase tests in substitution for three-phase tests to demonstrate the interruption of the third-pole-to-clear for  $k_{\text{pp}} = 1,3$**

| $k_{\text{pp}}$                                                                                                                                                | Rated voltage                                               |                                           |                                                    |                                  |                                                             |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                                                                                                                                                | $U_r < 100 \text{ kV}$<br>2-parameter-TRV                   |                                           | $U_r \geq 100 \text{ kV}$<br>4-parameter-TRV       |                                  |                                                             |                   |
|                                                                                                                                                                | $u_{\text{c,sp}}$                                           | $t_{3,\text{sp}}$                         | $u_{1,\text{sp}}$                                  | $t_{1,\text{sp}}$                | $u_{\text{c,sp}}$                                           | $t_{2,\text{sp}}$ |
| <b>1,3</b>                                                                                                                                                     | $k_{\text{af}} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_r$ | $t_3 \times u_{\text{c,sp}}/u_{\text{c}}$ | $0,75 \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_r$ | $t_1 \times u_{1,\text{sp}}/u_1$ | $k_{\text{af}} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_r$ | a                 |
| <sup>a</sup> $4 \times t_{1,\text{sp}}$ for rated voltages from 100 kV up to and including 800 kV, $3 \times t_{1,\text{sp}}$ for rated voltages above 800 kV. |                                                             |                                           |                                                    |                                  |                                                             |                   |

The single-phase tests with symmetrical currents can be combined using the prospective TRV peak value required for the second-pole-to-clear with the arcing time prescribed for the third-pole-to-clear.

- an additional single-phase fault test with an asymmetrical current that fulfils the asymmetry criteria as defined in 6.102.10.2.2 shall be performed. This additional test demonstrates the performance of the second and third-pole-to-clear under asymmetrical fault current on the extended major loop.

The test voltage to be applied is  $1,26 \times \frac{U_r}{\sqrt{3}}$  for the verification of  $k_{\text{pp}} = 1,3$ ;

and may be reduced to  $U_r/\sqrt{3}$  after one quarter of a cycle of rated frequency after current interruption.

When the last current loop parameters are within the prescribed tolerances, the resulting deviations on the DC component at current zero, the associated  $di/dt$  and the following TRV peak value are within acceptable limits compared to those calculated with rated values.

The arcing time shall be the maximum arcing time calculated for a three-phase condition considering the minimum arcing time value found during test-duty T100s performed for  $k_{pp} = 1,5$ .

$$t_{\text{arc}} = (t_{\text{a100s}} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}) + \Delta t_{\text{a3}}$$

where

$\Delta t_{\text{a3}}$  is the relevant time parameter to be selected from Tables 39 and 40.

### 6.102.10.3 Single-phase tests in substitution for three-phase conditions, out-of-phase and short-line fault tests

#### 6.102.10.3.1 General

The procedure for establishing a minimum arcing time might result in a test with maximum arcing time or with an arcing time in excess of the maximum arcing time. The aim of the following single-phase tests is to satisfy the conditions of the first-pole-to-clear, the second-pole-to-clear and the last pole-to-clear for each test-duty in one test circuit.

The following procedures are applicable if all operations of the rated operating sequence fulfil the requirements of 5.101.

#### 6.102.10.3.2 Test-duties T10, T30, T60, T100s and T100s(b), OP1 and OP2, L<sub>90</sub>, L<sub>75</sub> and L<sub>60</sub>

A valid breaking operation shall demonstrate interruption with an arcing time as small as possible. The resultant arcing time is known as the minimum arcing time ( $t_{\text{arc min}}$ ). This is established when any extra delay in the contact separation with respect to the current waveform results in interruption at the next current zero. This minimum arcing time is found by changing the setting of the tripping impulse by steps of 18°.

Another valid breaking operation shall demonstrate interruption with the maximum arcing time. The required maximum arcing time is known as  $t_{\text{arc max}}$  and is determined as follows:

- for circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,5$ , by

$$t_{\text{arc max}} = t_{\text{arc min}} + T \times \frac{132^\circ}{360^\circ};$$

- for circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,3$  or  $1,2$  and short-line fault tests, by

$$t_{\text{arc max}} = t_{\text{arc min}} + T \times \frac{162^\circ}{360^\circ};$$

where

$t_{\text{arc min}}$  is the minimum arcing time obtained from the first valid operation;

Another valid breaking operation shall demonstrate interruption with an arcing time which is approximately equal to the average value of the minimum arcing time and the required maximum arcing time. This arcing time is known as the medium arcing time ( $t_{\text{arc med}}$ ) and is determined by

$$t_{\text{arc med}} = (t_{\text{arc max}} + t_{\text{arc min}})/2$$

If the circuit-breaker does not interrupt at the expected current zero with medium and/or maximum arcing time but at a subsequent current zero no additional testing is required.

A graphical representation of an example of the three valid breaking operations for the first-pole-to-clear factor 1,5 is given in Figure 33 and for the first-pole-to-clear factor 1,3 or 1,2 in Figure 34.

### 6.102.10.3.3 Test-duty T100a

The breaking operations are valid if the prospective current meets the following asymmetry criteria as given in 6.102.10.2.2:

Tables 39 and 40 give the required values of the peak short-circuit current and loop duration that shall be attained by the last loop prior to the interruption. All tests shall be performed with the current parameters of the first pole-to-clear.

A breaking operation shall demonstrate interruption at the end of the major loop with an arcing time equivalent to the maximum arcing time under three-phase conditions  $t_{\text{arc1}}$  of the first pole-to-clear.

This is achieved, when following condition is met:

$$t_{\text{arc1}} = t_{\text{a100s}} + \Delta t_{\text{a1}} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}$$

Another breaking operation shall demonstrate interruption at the end of the major loop with an arcing time equivalent to the maximum arcing time under three-phase conditions

- $t_{\text{arc2}}$  for the last-pole-to clear of circuit-breakers rated for  $k_{\text{pp}} = 1,5$

This is achieved, when following condition is met:

$$t_{\text{arc2}} = t_{\text{a100s}} + \Delta t_{\text{a2}} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}$$

- $t_{\text{arc3}}$  for the second-pole-to-clear for circuit-breakers rated for  $k_{\text{pp}} = 1,3$  or  $1,2$ .

This is achieved, when following condition is met:

$$t_{\text{arc3}} = t_{\text{a100s}} + \Delta t_{\text{a3}} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}$$

$\Delta t_{\text{a1}}$ ,  $\Delta t_{\text{a2}}$  and  $\Delta t_{\text{a3}}$  are the relevant time parameters to be selected from Tables 39 and 40.

Another breaking operation shall demonstrate the conditions of interruption after a major loop as first-pole-to-clear or after a major extended loop as last-pole-to-clear for circuit-breakers rated for  $k_{\text{pp}} = 1,5$  or after a major extended loop as second-pole-to-clear for circuit-breakers rated for  $k_{\text{pp}} = 1,2$  or  $1,3$ . There are no further requirements regarding arcing times.

If the circuit-breaker fails to interrupt after the required major loop and interrupts after the subsequent minor loop, the required maximum arcing time is extended by the duration of this minor loop.

If the behaviour of the circuit-breaker is such that the required conditions are not fulfilled, the relevant tests shall be repeated by changing the tripping of the circuit-breaker accordingly. The total number of tests is limited to 6, when attempting to meet the above mentioned requirements. After 6 tests the test duty is valid regardless of the arcing times that have been obtained.

The circuit-breaker may be reconditioned with renewable parts before the extended operations (see 6.102.9.5). Another test sample can also be used for the extended operations.

A graphical representation of an example of the three valid breaking operations for  $k_{pp} = 1,5$  is given in Figure 35 and for  $k_{pp} = 1,3$  and 1,2 in Figure 36.

#### **6.102.10.3.4 Tests combining the conditions for effectively and non-effectively earthed neutral systems**

Both conditions,  $k_{pp} = 1,5$  and  $k_{pp} = 1,3$  may be combined in one test series. The transient and power frequency voltages to be used shall be those applicable to a non-effectively earthed neutral system and the arcing times shall be those applicable to an effectively earthed neutral system.

For test-duty T100a the arcing times shall be those applicable to a non-effectively earthed neutral system.

#### **6.102.10.3.5 Splitting of test-duties in test series taking into account the associated TRV for each pole-to-clear**

It is recognised that single-phase tests in substitution of three-phase conditions are more severe than three-phase tests because the arcing time of the last-pole-to-clear is used together with the prospective TRV of the first-pole-to-clear. As an alternative, the manufacturer may choose to split each test-duty into two or three separate test series, each test series demonstrating a successful interruption with the minimum and maximum arcing times for each pole-to-clear with its associated prospective TRV. The standard multipliers for the prospective TRV values for the second and third clearing poles for rated voltages above 72,5 kV are given in Table 6. They are applicable for test duties T10, T30, T60, T100s, OP1 and OP2.

Reconditioning of the circuit-breaker is permitted after a minimum of three interruptions and shall comply with the requirements of 6.102.9.5.

Assuming that the simultaneity of poles during all operations of the rated operating sequence is within the tolerances of 5.101, for tests with symmetrical current the interrupting window for each phase is within the band stated in Table 23, if the instant of interruption for the first clearing pole with the minimum arcing time is taken as reference. A graphical representation of the interrupting window and the voltage factor  $k_p$ , determining the TRV of the individual pole, is given for terminal fault in Figure 37 and Figure 58 for systems with a first-pole-to-clear factor of 1,2 and 1,3 and in Figure 38 for systems with a first-pole-to-clear factor of 1,5.

**Table 23 – Interrupting window for tests with symmetrical current**

| First-pole-to-clear factor                 | First clearing pole ° | Second clearing pole ° | Third clearing pole ° |
|--------------------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 1,5 (Terminal fault)<br>2,5 (Out-of-phase) | 0 to 42               | 90 to 132              | 90 to 132             |
| 1,3 (Terminal fault)<br>2,0 (Out-of-phase) | 0 to 42               | 77 to 119              | 120 to 162            |
| 1,2 (Terminal fault)<br>2,0 (Out-of-phase) | 0 to 42               | 71 to 113              | 120 to 162            |

#### 6.103.4 Connection of the test circuit to circuit-breaker

Delete, in the first paragraph, “with respect to voltage to earth”.

##### 6.104.2.1 General

Replace the first dashed item of the list as follows:

- making at the peak of the voltage wave (within the range between  $-15^\circ$  and  $+15^\circ$ ), leading to a symmetrical short-circuit current and the longest pre-striking arc;

Delete NOTE 1, renumber NOTE 2 to NOTE 1 and NOTE 3 to NOTE 2.

#### 6.104.4 DC component of short-circuit breaking current

Delete the last two paragraphs.

##### 6.104.5.1 General

Replace, in the fourth paragraph added by Amendment 1, the reference 4.102.2 to 6.104.6.

Add, after the fourth paragraph added by Amendment 1, the following new paragraph:

The special case of circuit-breakers with a connection of low capacitance to a transformer is covered in Annex M.

Replace the fifth paragraph and item a) added by Amendment 1, by the following:

TRV parameters are a function of the rated voltage ( $U_r$ ), the rated first-pole-to-clear factor ( $k_{pp}$ ) and the amplitude factor ( $k_{af}$ ). The values of  $k_{pp}$  and  $k_{af}$  are stated in Tables 24, 25, 26, 27, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49 and 50. The first-pole-to-clear factor  $k_{pp}$  is given in 4.102.

##### a) For rated voltages less than 100 kV

A representation by two parameters of the prospective TRV is used for all test-duties.

- In Tables 24 and 43, for class S1 circuit-breakers.

TRV peak value  $u_c = k_{pp} \times k_{af} \sqrt{(2/3)} \times U_r$  where  $k_{af}$  is equal to 1,4 for test-duty T100, 1,5 for test-duty T60, 1,6 for test duty T30 and 1,7 for test duty T10, 1,25 for out-of-phase breaking.

Time  $t_3$  for test-duty T100 is taken from Tables 24 and 43. Time  $t_3$  for test-duties T60, T30 and T10 is obtained by multiplying the time  $t_3$  for test-duty T100 by 0,44 (for T60), 0,22 (for T30) and 0,22 (for T10).

- In Table 25 and 44, for class S2 circuit-breakers.

TRV peak value  $u_c = k_{pp} \times k_{af} \sqrt{(2/3)} \times U_r$  where  $k_{af}$  is equal to 1,54 for test-duty T100 and the supply side circuit for short-line fault, 1,65 for test-duty T60, 1,74 for test duty T30 and 1,8 for test duty T10, 1,25 for out-of-phase breaking.

Time  $t_3$  for test-duty T100 is taken from Tables 25 and 44. Time  $t_3$  for test-duties T60, T30 and T10 is obtained by multiplying the time  $t_3$  for test-duty T100 by 0,67 (for T60), 0,40 (for T30) and 0,40 (for T10).

- Time delay  $t_d$  for test-duty T100 is  $0,15t_3$  for cable systems,  $0,05t_3$  for line systems,  $0,05t_3$  for the supply side circuit for short-line fault.
- Time delay  $t_d$  is  $0,15t_3$  for test-duties T60, T30 and T10 and for out-of-phase breaking.
- Voltage  $u' = u_c/3$ .
- Time  $t'$  is derived from  $u'$ ,  $t_3$  and  $t_d$  according to Figure 11,  $t' = t_d + t_3/3$ .

**Table 24 – Standard values of prospective transient recovery voltage for class S1 circuit-breakers – Rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters**

Replace the existing title by the as follows:

**Table 24 – Values of prospective TRV for class S1 circuit-breakers for  $k_{pp} = 1,5$**

Add, after Table 24, the following table:

**Table 43 – Values of prospective TRV for class S1 circuit-breakers for  $k_{pp} = 1,3$**

| Rated voltage<br>$U_r$<br>kV | Test-duty | $k_{pp}$<br>p.u | Amplitude factor<br>$k_{af}$<br>p.u | TRV peak value<br>$u_c$<br>kV | Time<br>$t_3$<br>μs | Time delay<br>$t_d$<br>μs | Voltage<br>$u'$<br>kV | Time<br>$t'$<br>μs | RRRV <sup>a</sup><br>$u_c/t_3$<br>kV/μs |
|------------------------------|-----------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------------|
| 3,6                          | T100      | 1,3             | 1,4                                 | 5,3                           | 35                  | 5                         | 1,8                   | 17                 | 0,15                                    |
|                              | T60       | 1,3             | 1,5                                 | 5,7                           | 15                  | 2                         | 1,9                   | 7                  | 0,37                                    |
|                              | T30       | 1,3             | 1,6                                 | 6,1                           | 8                   | 1,2                       | 2,0                   | 3,8                | 0,79                                    |
|                              | T10       | 1,5             | 1,7                                 | 7,5                           | 9                   | 1,4                       | 2,5                   | 4,4                | 0,83                                    |
| 4,76 <sup>b</sup>            | T100      | 1,3             | 1,4                                 | 7,1                           | 37                  | 6                         | 2,4                   | 18                 | 0,19                                    |
|                              | T60       | 1,3             | 1,5                                 | 7,6                           | 17                  | 3                         | 2,5                   | 8                  | 0,46                                    |
|                              | T30       | 1,3             | 1,6                                 | 8,1                           | 8,7                 | 1,3                       | 2,7                   | 4,2                | 0,93                                    |
|                              | T10       | 1,5             | 1,7                                 | 9,9                           | 10                  | 1,5                       | 3,3                   | 4,8                | 0,99                                    |
| 7,2                          | T100      | 1,3             | 1,4                                 | 10,7                          | 45                  | 7                         | 4,1                   | 22                 | 0,24                                    |
|                              | T60       | 1,3             | 1,5                                 | 11,5                          | 19                  | 3                         | 3,8                   | 9                  | 0,60                                    |
|                              | T30       | 1,3             | 1,6                                 | 12,2                          | 10                  | 1,5                       | 4,1                   | 5                  | 1,28                                    |
|                              | T10       | 1,5             | 1,7                                 | 15,0                          | 11                  | 2                         | 5,0                   | 5                  | 1,36                                    |
| 8,25 <sup>b</sup>            | T100      | 1,3             | 1,4                                 | 12,3                          | 45                  | 7                         | 4,1                   | 22                 | 0,27                                    |
|                              | T60       | 1,3             | 1,5                                 | 13,1                          | 20                  | 3                         | 4,4                   | 10                 | 0,66                                    |
|                              | T30       | 1,3             | 1,6                                 | 14,0                          | 10                  | 1,5                       | 4,7                   | 5                  | 1,47                                    |
|                              | T10       | 1,5             | 1,7                                 | 17,2                          | 11                  | 2                         | 5,7                   | 6                  | 1,56                                    |
| 12                           | T100      | 1,3             | 1,4                                 | 17,8                          | 52                  | 8                         | 5,9                   | 25                 | 0,34                                    |
|                              | T60       | 1,3             | 1,5                                 | 19,1                          | 24                  | 4                         | 6,4                   | 12                 | 0,81                                    |
|                              | T30       | 1,3             | 1,6                                 | 20,4                          | 11                  | 2                         | 6,8                   | 5                  | 1,81                                    |
|                              | T10       | 1,5             | 1,7                                 | 25,0                          | 13                  | 2                         | 8,3                   | 6                  | 1,92                                    |
| 15 <sup>b</sup>              | T100      | 1,3             | 1,4                                 | 22,3                          | 57                  | 9                         | 7,4                   | 28                 | 0,39                                    |
|                              | T60       | 1,3             | 1,5                                 | 23,9                          | 25                  | 4                         | 8,0                   | 12                 | 0,95                                    |
|                              | T30       | 1,3             | 1,6                                 | 25,5                          | 13                  | 2                         | 8,5                   | 6                  | 1,96                                    |

| Rated voltage<br>$U_r$<br>kV | Test-duty | $k_{pp}$<br>p.u | Amplitude factor<br>$k_{af}$<br>p.u | TRV peak value<br>$u_c$<br>kV | Time<br>$t_3$<br>$\mu s$ | Time delay<br>$t_d$<br>$\mu s$ | Voltage<br>$u'$<br>kV | Time<br>$t'$<br>$\mu s$ | RRRV <sup>a</sup><br>$u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ |
|------------------------------|-----------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|
| 17,5                         | T10       | 1,5             | 1,7                                 | 31,2                          | 15                       | 2                              | 9,8                   | 7                       | 2,08                                          |
|                              | T100      | 1,3             | 1,4                                 | 26,0                          | 62                       | 9                              | 8,7                   | 30                      | 0,42                                          |
|                              | T60       | 1,3             | 1,5                                 | 27,9                          | 27                       | 4                              | 9,3                   | 13                      | 1,04                                          |
|                              | T30       | 1,3             | 1,6                                 | 29,7                          | 14                       | 2                              | 9,9                   | 7                       | 2,14                                          |
| 24                           | T10       | 1,5             | 1,7                                 | 36,4                          | 16                       | 2                              | 12,1                  | 8                       | 2,28                                          |
|                              | T100      | 1,3             | 1,4                                 | 35,7                          | 76                       | 11                             | 11,9                  | 37                      | 0,47                                          |
|                              | T60       | 1,3             | 1,5                                 | 38,2                          | 33                       | 5                              | 12,7                  | 16                      | 1,16                                          |
|                              | T30       | 1,3             | 1,6                                 | 40,8                          | 17                       | 3                              | 13,6                  | 8                       | 2,47                                          |
| 27 <sup>b</sup>              | T10       | 1,5             | 1,7                                 | 50                            | 19                       | 3                              | 16,7                  | 9                       | 2,63                                          |
|                              | T100      | 1,3             | 1,4                                 | 40,1                          | 78                       | 12                             | 12,8                  | 38                      | 0,51                                          |
|                              | T60       | 1,3             | 1,5                                 | 43,0                          | 35                       | 5                              | 13,7                  | 17                      | 1,25                                          |
|                              | T30       | 1,3             | 1,6                                 | 45,8                          | 17                       | 3                              | 14,6                  | 8                       | 2,65                                          |
| 36                           | T10       | 1,5             | 1,7                                 | 56,2                          | 20                       | 3                              | 17,9                  | 10                      | 2,82                                          |
|                              | T100      | 1,3             | 1,4                                 | 53,5                          | 94                       | 14                             | 17,8                  | 45                      | 0,57                                          |
|                              | T60       | 1,3             | 1,5                                 | 57,3                          | 42                       | 6                              | 19,1                  | 20                      | 1,38                                          |
|                              | T30       | 1,3             | 1,6                                 | 61,1                          | 21                       | 3                              | 20,4                  | 10                      | 2,94                                          |
| 38 <sup>b</sup>              | T10       | 1,5             | 1,7                                 | 75,0                          | 24                       | 4                              | 25,0                  | 12                      | 3,13                                          |
|                              | T100      | 1,3             | 1,4                                 | 56,5                          | 94                       | 14                             | 18,8                  | 46                      | 0,60                                          |
|                              | T60       | 1,3             | 1,5                                 | 60,5                          | 42                       | 6                              | 20,2                  | 20                      | 1,45                                          |
|                              | T30       | 1,3             | 1,6                                 | 64,5                          | 21                       | 3                              | 21,5                  | 10                      | 3,10                                          |
| 52                           | T10       | 1,5             | 1,7                                 | 79,1                          | 24                       | 4                              | 26,4                  | 12                      | 3,30                                          |
|                              | T100      | 1,3             | 1,4                                 | 77,3                          | 114                      | 17                             | 25,8                  | 55                      | 0,68                                          |
|                              | T60       | 1,3             | 1,5                                 | 82,8                          | 50                       | 8                              | 27,6                  | 24                      | 1,65                                          |
|                              | T30       | 1,3             | 1,6                                 | 88,3                          | 25                       | 4                              | 29,4                  | 12                      | 3,52                                          |
| 72,5                         | T10       | 1,5             | 1,7                                 | 108                           | 29                       | 4                              | 36,1                  | 14                      | 3,72                                          |
|                              | T100      | 1,3             | 1,4                                 | 108                           | 144                      | 22                             | 36,0                  | 70                      | 0,75                                          |
|                              | T60       | 1,3             | 1,5                                 | 115                           | 63                       | 10                             | 38,3                  | 31                      | 1,82                                          |
|                              | T30       | 1,3             | 1,6                                 | 123                           | 31                       | 5                              | 41,0                  | 15                      | 3,94                                          |
|                              | T10       | 1,5             | 1,7                                 | 151                           | 36                       | 5                              | 50,3                  | 18                      | 4,19                                          |

<sup>a</sup> RRRV = rate-of-rise of recovery voltage.

<sup>b</sup> Used in some countries.

NOTE First-pole-to-clear factor  $k_{pp} = 1,5$  is specified to cover transformer-limited fault conditions with  $X_0/X_1$  higher than 3,0 (for example non-effectively earthed transformers in effectively earthed neutral systems, or cases of transformers having one side effectively earthed and the other connected to non-effectively earthed neutral systems). The TRV specified covers also cases of 3-phase line faults with effectively earthed neutral systems ( $k_{pp} = 1,3$ ) where coupling between phases can lead to an amplitude factor of 1,76.

**Table 25 – Standard values of prospective transient recovery voltage<sup>c</sup> for class S2 circuit-breakers – Rated voltage equal to or higher than 15 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters**

Replace the title of the existing table as follows:

**Table 25 – Values of prospective TRV for class S2 circuit-breakers for  $k_{pp} = 1,5$**

Replace " <sup>c</sup> " at the bottom of the table by the word "NOTE".

Add, after Table 25, the following table:

**Table 44 – Values of prospective TRV for class S2 circuit-breakers for for  $k_{pp} = 1,3$**

| Rated voltage<br>$U_r$<br>kV | Test-duty | First-pole-to-clear factor<br>$k_{pp}$<br>p.u | Amplitude factor<br>$k_{af}$<br>p.u | TRV peak value<br>$u_c$<br>kV | Time<br>$t_3$<br>$\mu s$ | Time delay<br>$t_d$<br>$\mu s$ | Voltage<br>$u'$<br>kV | Time<br>$t'$<br>$\mu s$ | RRRV <sup>a</sup><br>$u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ |
|------------------------------|-----------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|
| 15,5 <sup>b</sup>            | T100      | 1,3                                           | 1,54                                | 25,3                          | 27                       | 2 (4)                          | 8,2                   | 11 (13)                 | 0,94                                          |
|                              | T60       | 1,3                                           | 1,65                                | 27,2                          | 18                       | 3                              | 8,8                   | 9                       | 1,49                                          |
|                              | T30       | 1,3                                           | 1,74                                | 28,0                          | 11                       | 2                              | 9,2                   | 5                       | 2,65                                          |
|                              | T10       | 1,5                                           | 1,80                                | 34,2                          | 12,5                     | 2                              | 11,0                  | 6                       | 2,76                                          |
| 17,5                         | T100      | 1,3                                           | 1,54                                | 28,6                          | 30                       | 2 (5)                          | 9,5                   | 12 (15)                 | 0,97                                          |
|                              | T60       | 1,3                                           | 1,65                                | 30,7                          | 20                       | 3                              | 10,2                  | 10                      | 1,53                                          |
|                              | T30       | 1,3                                           | 1,74                                | 32,3                          | 12                       | 2                              | 10,8                  | 6                       | 2,66                                          |
|                              | T10       | 1,5                                           | 1,80                                | 38,6                          | 14                       | 2                              | 12,9                  | 7                       | 2,76                                          |
| 24                           | T100      | 1,3                                           | 1,54                                | 39,2                          | 37                       | 2 (6)                          | 13,1                  | 14 (18)                 | 1,05                                          |
|                              | T60       | 1,3                                           | 1,65                                | 42,0                          | 25                       | 4                              | 14,0                  | 12                      | 1,67                                          |
|                              | T30       | 1,3                                           | 1,74                                | 44,3                          | 15                       | 2                              | 14,8                  | 7                       | 3,01                                          |
|                              | T10       | 1,5                                           | 1,80                                | 52,9                          | 17                       | 3                              | 17,6                  | 8                       | 3,11                                          |
| 25,8 <sup>b</sup>            | T100      | 1,3                                           | 1,54                                | 42,2                          | 39                       | 2 (6)                          | 12,8                  | 15 (19)                 | 1,08                                          |
|                              | T60       | 1,3                                           | 1,65                                | 45,2                          | 26                       | 4                              | 15,1                  | 13                      | 1,74                                          |
|                              | T30       | 1,3                                           | 1,74                                | 47,7                          | 16                       | 2                              | 15,9                  | 8                       | 3,06                                          |
|                              | T10       | 1,5                                           | 1,80                                | 56,9                          | 18                       | 3                              | 19,0                  | 9                       | 3,16                                          |
| 36                           | T100      | 1,3                                           | 1,54                                | 58,9                          | 50                       | 3 (8)                          | 19,6                  | 20 (25)                 | 1,19                                          |
|                              | T60       | 1,3                                           | 1,65                                | 63,1                          | 33                       | 5                              | 21,0                  | 16                      | 1,91                                          |
|                              | T30       | 1,3                                           | 1,74                                | 66,5                          | 20                       | 3                              | 22,2                  | 10                      | 3,33                                          |
|                              | T10       | 1,5                                           | 1,80                                | 79,4                          | 23                       | 3                              | 26,5                  | 11                      | 3,45                                          |
| 38 <sup>b</sup>              | T100      | 1,3                                           | 1,54                                | 62,1                          | 51                       | 3 (8)                          | 20,7                  | 20 (25)                 | 1,22                                          |
|                              | T60       | 1,3                                           | 1,65                                | 66,6                          | 35                       | 5                              | 22,2                  | 17                      | 1,92                                          |
|                              | T30       | 1,3                                           | 1,74                                | 70,2                          | 21                       | 3                              | 23,4                  | 10                      | 3,38                                          |
|                              | T10       | 1,5                                           | 1,80                                | 83,8                          | 24                       | 4                              | 28,0                  | 12                      | 3,49                                          |
| 48,3 <sup>b</sup>            | T100      | 1,3                                           | 1,54                                | 79,0                          | 61                       | 3 (9)                          | 26,3                  | 23 (29)                 | 1,30                                          |
|                              | T60       | 1,3                                           | 1,65                                | 84,6                          | 41                       | 6                              | 28,2                  | 20                      | 2,07                                          |
|                              | T30       | 1,3                                           | 1,74                                | 89,2                          | 24                       | 4                              | 29,7                  | 12                      | 3,68                                          |
|                              | T10       | 1,5                                           | 1,80                                | 107                           | 28                       | 4                              | 35,5                  | 13,5                    | 3,82                                          |
| 52                           | T100      | 1,3                                           | 1,54                                | 85,0                          | 64                       | 3 (10)                         | 28,3                  | 24 (31)                 | 1,33                                          |
|                              | T60       | 1,3                                           | 1,65                                | 91,1                          | 43                       | 7                              | 30,4                  | 21                      | 2,10                                          |
|                              | T30       | 1,3                                           | 1,74                                | 96,0                          | 26                       | 4                              | 32,0                  | 13                      | 3,70                                          |
|                              | T10       | 1,5                                           | 1,80                                | 115                           | 30                       | 4                              | 38,3                  | 14                      | 3,83                                          |
| 72,5                         | T100      | 1,3                                           | 1,54                                | 119                           | 81                       | 4 (12)                         | 39,5                  | 31 (39)                 | 1,47                                          |
|                              | T60       | 1,3                                           | 1,65                                | 127                           | 54                       | 8                              | 42,3                  | 26                      | 2,35                                          |
|                              | T30       | 1,3                                           | 1,74                                | 134                           | 32                       | 5                              | 44,6                  | 16                      | 4,19                                          |
|                              | T10       | 1,5                                           | 1,80                                | 160                           | 37                       | 6                              | 53,3                  | 18                      | 4,32                                          |

<sup>a</sup> RRRV = rate of rise of recovery voltage.

<sup>b</sup> Used in some countries.

NOTE  $k_{pp} = 1,5$  is specified to cover transformer-limited fault conditions with  $X_0/X_1$  higher than 3,0 (for example non-effectively earthed transformers in effectively earthed neutral systems, or cases of transformers having one side effectively earthed and the other connected to non-effectively earthed neutral systems). The TRV specified covers also cases of 3-phase line faults with effectively earthed neutral systems ( $k_{pp} = 1,3$ ) where coupling between phases can lead to an amplitude factor of 1,76.

#### 6.104.5.2 Test-duties T100s and T100a

*Replace the first three paragraphs by the following:*

For rated voltages less than 100 kV, the specified values are given in

- Tables 24 and 43 for class S1 circuit-breakers;
- Tables 25 and 44 for class S2 circuit-breakers.

For rated voltages of 100 kV and above, the specified values are given in Tables 26 and 27.

The specific reference lines, delay lines and ITRV are given by the values in Tables 6, 7, 24, 25, 26 and 27.

*Replace, in the last two paragraphs added by Amendment 1, "SLF" by "L<sub>90</sub>" (2 occurrences).*

*Replace the last sentence of the penultimate paragraph added by Amendment 1 by the following:*

Therefore the ITRV requirements for test-duties T100s and T100a are considered to be covered when L<sub>90</sub> is performed using a line with a time delay less than 100 ns and a surge impedance of 450 Ω.

*Replace, in the last paragraph added by Amendment 1 the phrase "Where short-line fault duties with a time delay less than 100 ns are used" by the following "Where short-line fault test-duty L<sub>90</sub> with a time delay less than 100 ns is used".*

#### 6.104.5.3 Test duty T60

*Replace the first paragraph by the following:*

For rated voltages less than 100 kV, the specified values are given in

- Tables 24 and 43 for class S1 circuit-breakers;
- Tables 25 and 44 for class S2 circuit-breakers.

#### 6.104.5.4 Test duty T30

*Replace item a) modified by Amendment 1 by the following:*

a) For rated voltages less than 100 kV, the specified values are given in

- Tables 24 and 43 for class S1 circuit-breakers;
- Tables 25 and 44 for class S2 circuit-breakers.

In case that small values of time  $t_3$  cannot be met, the shortest time that can be met shall be used. The values used shall be stated in the test report.

**6.104.5.5 Test duty T10**

Modify item a) modified by Amendment 1 by the following:

- a) For rated voltages less than 100 kV, the specified values are given in
- Tables 24 and 43 for class S1 circuit-breakers;
  - Tables 25 and 44 for class S2 circuit-breakers.

**6.104.5.6 Test-duties OP1 and OP2**

Replace the existing text by the following new text and new tables:

For rated voltages up to and including 72,5 kV, the specified values are given in the following tables:

- Table 45 for class S1 circuit-breakers for use in non-effectively earthed neutral systems;
- Table 46 for class S2 circuit-breakers for use in non-effectively earthed neutral systems;
- Table 47 for class S1 circuit-breakers for use in effectively earthed neutral systems;
- Table 48 for class S2 circuit-breakers for use in effectively earthed neutral systems.

For rated voltages of 100 kV and above, the specified values are given in Tables 26 and 27. Where two values of time,  $t_2$ ,  $t_d$  and  $t'$ , are given, they indicate the lower and the upper limits that shall be used for testing.

**Table 45 – Values of prospective TRV for out-of-phase tests  
on class S1 circuit-breakers for  $k_{pp} = 2,5$**

| Rated voltage<br>$U_r$<br>kV | First-pole-to-clear factor<br>$k_{pp}$<br>p.u. | Amplitude factor<br>$k_{af}$<br>p.u. | TRV peak value<br>$u_c$<br>kV | Time<br>$t_3$<br>$\mu$ s | Time delay<br>$t_d$<br>$\mu$ s | Voltage<br>$u'$<br>kV | Time<br>$t'$<br>$\mu$ s | RRRV <sup>a</sup><br>$u_c/t_3$<br>kV/ $\mu$ s |
|------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|
| 3,6                          | 2,5                                            | 1,25                                 | 9,2                           | 82                       | 12                             | 3,1                   | 40                      | 0,11                                          |
| 4,76 <sup>b</sup>            | 2,5                                            | 1,25                                 | 12,1                          | 88                       | 13                             | 4,0                   | 43                      | 0,14                                          |
| 7,2                          | 2,5                                            | 1,25                                 | 18,4                          | 102                      | 15                             | 6,1                   | 49                      | 0,18                                          |
| 8,25 <sup>b</sup>            | 2,5                                            | 1,25                                 | 21,1                          | 104                      | 16                             | 7,0                   | 50                      | 0,20                                          |
| 12                           | 2,5                                            | 1,25                                 | 30,6                          | 122                      | 18                             | 10,2                  | 59                      | 0,25                                          |
| 15 <sup>b</sup>              | 2,5                                            | 1,25                                 | 38,3                          | 132                      | 20                             | 12,8                  | 64                      | 0,29                                          |
| 17,5                         | 2,5                                            | 1,25                                 | 44,7                          | 142                      | 21                             | 14,9                  | 69                      | 0,31                                          |
| 24                           | 2,5                                            | 1,25                                 | 61,2                          | 174                      | 26                             | 20,4                  | 84                      | 0,35                                          |
| 27 <sup>b</sup>              | 2,5                                            | 1,25                                 | 68,9                          | 182                      | 27                             | 22,9                  | 88                      | 0,38                                          |
| 36                           | 2,5                                            | 1,25                                 | 91,9                          | 218                      | 33                             | 30,6                  | 105                     | 0,42                                          |
| 38 <sup>b</sup>              | 2,5                                            | 1,25                                 | 97,0                          | 218                      | 33                             | 32,3                  | 105                     | 0,45                                          |
| 48,3 <sup>b</sup>            | 2,5                                            | 1,25                                 | 123                           | 250                      | 38                             | 41,1                  | 121                     | 0,49                                          |
| 52                           | 2,5                                            | 1,25                                 | 133                           | 262                      | 39                             | 44,2                  | 127                     | 0,51                                          |
| 72,5                         | 2,5                                            | 1,25                                 | 185                           | 330                      | 50                             | 61,7                  | 160                     | 0,56                                          |

<sup>a</sup> RRRV = rate of rise of recovery voltage.

<sup>b</sup> Used in some countries.

**Table 46 – Values of prospective TRV for out-of-phase tests  
on class S2 circuit-breakers for  $k_{pp} = 2,5$**

| Rated<br>voltage<br><br>$U_r$<br>kV | First-pole-<br>to-clear<br>factor<br><br>$k_{pp}$<br>p.u. | Ampli-<br>tude<br>factor<br><br>$k_{af}$<br>p.u. | TRV<br>peak<br>value<br><br>$u_c$<br>kV | Time<br><br>$t_3$<br>$\mu s$ | Time<br>delay<br><br>$t_d$<br>$\mu s$ | Voltage<br><br>$u'$<br>kV | Time<br><br>$t'$<br>$\mu s$ | RRRV <sup>a</sup><br><br>$u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| 15 <sup>b</sup>                     | 2,5                                                       | 1,25                                             | 38,3                                    | 62                           | 9                                     | 12,8                      | 30                          | 0,62                                              |
| 17,5                                | 2,5                                                       | 1,25                                             | 45                                      | 68                           | 10                                    | 14,9                      | 33                          | 0,65                                              |
| 24                                  | 2,5                                                       | 1,25                                             | 61                                      | 86                           | 13                                    | 20,4                      | 42                          | 0,71                                              |
| 25,8 <sup>b</sup>                   | 2,5                                                       | 1,25                                             | 66                                      | 90                           | 14                                    | 21,9                      | 44                          | 0,73                                              |
| 36                                  | 2,5                                                       | 1,25                                             | 92                                      | 114                          | 17                                    | 30,6                      | 55                          | 0,81                                              |
| 38 <sup>b</sup>                     | 2,5                                                       | 1,25                                             | 97                                      | 118                          | 18                                    | 32,3                      | 57                          | 0,82                                              |
| 48,3 <sup>b</sup>                   | 2,5                                                       | 1,25                                             | 123                                     | 140                          | 21                                    | 41,1                      | 68                          | 0,88                                              |
| 52                                  | 2,5                                                       | 1,25                                             | 133                                     | 148                          | 22                                    | 44,2                      | 72                          | 0,90                                              |
| 72,5                                | 2,5                                                       | 1,25                                             | 185                                     | 186                          | 28                                    | 61,7                      | 90                          | 0,99                                              |

<sup>a</sup> RRRV = rate of rise of recovery voltage.  
<sup>b</sup> Used in some countries.

**Table 47 – Values of prospective TRV for out-of-phase tests  
on class S1 circuit-breakers for  $k_{pp} = 2,0$**

| Rated<br>voltage<br><br>$U_r$<br>kV | First-pole-<br>to-clear<br>factor<br><br>$k_{pp}$<br>p.u. | Ampli-<br>tude<br>factor<br><br>$k_{af}$<br>p.u. | TRV<br>peak<br>value<br><br>$u_c$<br>kV | Time<br><br>$t_3$<br>$\mu s$ | Time<br>delay<br><br>$t_d$<br>$\mu s$ | Voltage<br><br>$u'$<br>kV | Time<br><br>$t'$<br>$\mu s$ | RRRV <sup>a</sup><br><br>$u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| 3,6                                 | 2,0                                                       | 1,25                                             | 7,3                                     | 67                           | 10                                    | 2,4                       | 32                          | 0,11                                              |
| 4,76 <sup>b</sup>                   | 2,0                                                       | 1,25                                             | 9,7                                     | 69                           | 10                                    | 3,2                       | 33                          | 0,14                                              |
| 7,2                                 | 2,0                                                       | 1,25                                             | 14,7                                    | 82                           | 12                                    | 4,9                       | 39                          | 0,18                                              |
| 8,25 <sup>b</sup>                   | 2,0                                                       | 1,25                                             | 16,8                                    | 84                           | 13                                    | 5,6                       | 41                          | 0,20                                              |
| 12                                  | 2,0                                                       | 1,25                                             | 24,5                                    | 98                           | 15                                    | 8,2                       | 47                          | 0,25                                              |
| 15 <sup>b</sup>                     | 2,0                                                       | 1,25                                             | 30,6                                    | 106                          | 16                                    | 10,2                      | 51                          | 0,29                                              |
| 17,5                                | 2,0                                                       | 1,25                                             | 35,7                                    | 115                          | 17                                    | 11,9                      | 56                          | 0,31                                              |
| 24                                  | 2,0                                                       | 1,25                                             | 49,0                                    | 140                          | 21                                    | 16,3                      | 68                          | 0,35                                              |
| 27                                  | 2,0                                                       | 1,25                                             | 55,2                                    | 146                          | 22                                    | 17,6                      | 71                          | 0,38                                              |
| 36                                  | 2,0                                                       | 1,25                                             | 73,5                                    | 175                          | 26                                    | 24,5                      | 86                          | 0,42                                              |
| 38 <sup>b</sup>                     | 2,0                                                       | 1,25                                             | 77,6                                    | 172                          | 26                                    | 25,9                      | 83                          | 0,45                                              |
| 52                                  | 2,0                                                       | 1,25                                             | 106                                     | 208                          | 31                                    | 35,4                      | 101                         | 0,51                                              |
| 72,5                                | 2,0                                                       | 1,25                                             | 148                                     | 264                          | 40                                    | 49,3                      | 128                         | 0,56                                              |

<sup>a</sup> RRRV = rate of rise of recovery voltage.  
<sup>b</sup> Used in some countries.

**Table 48 – Values of prospective TRV for out-of-phase tests on class S2 circuit-breakers for  $k_{pp} = 2,0$** 

| Rated voltage<br>$U_r$<br>kV                                                                  | First-pole-to-clear factor<br>$k_{pp}$<br>p.u. | Amplitude factor<br>$k_{af}$<br>p.u. | TRV peak value<br>$u_c$<br>kV | Time<br>$t_3$<br>$\mu s$ | Time delay<br>$t_d$<br>$\mu s$ | Voltage<br>$u'$<br>kV | Time<br>$t'$<br>$\mu s$ | RRRV <sup>a</sup><br>$u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|
| 15,5                                                                                          | 2,0                                            | 1,25                                 | 31,6                          | 49                       | 7                              | 10,2                  | 24                      | 0,64                                          |
| 17,5                                                                                          | 2,0                                            | 1,25                                 | 35,7                          | 55                       | 8                              | 11,9                  | 26                      | 0,65                                          |
| 24                                                                                            | 2,0                                            | 1,25                                 | 49,0                          | 69                       | 10                             | 16,3                  | 33                      | 0,71                                          |
| 25,8 <sup>b</sup>                                                                             | 2,0                                            | 1,25                                 | 52,7                          | 72                       | 11                             | 17,6                  | 35                      | 0,73                                          |
| 36                                                                                            | 2,0                                            | 1,25                                 | 73,5                          | 91                       | 14                             | 24,5                  | 44                      | 0,81                                          |
| 38 <sup>b</sup>                                                                               | 2,0                                            | 1,25                                 | 77,6                          | 95                       | 14                             | 25,9                  | 46                      | 0,82                                          |
| 48,3 <sup>b</sup>                                                                             | 2,0                                            | 1,25                                 | 98,6                          | 112                      | 17                             | 32,9                  | 54                      | 0,88                                          |
| 52                                                                                            | 2,0                                            | 1,25                                 | 106                           | 118                      | 18                             | 35,4                  | 57                      | 0,90                                          |
| 72,5                                                                                          | 2,0                                            | 1,25                                 | 148                           | 150                      | 22                             | 49,3                  | 72                      | 0,99                                          |
| <sup>a</sup> RRRV = rate of rise of recovery voltage.<br><sup>b</sup> Used in some countries. |                                                |                                      |                               |                          |                                |                       |                         |                                               |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-100:2008/AMD2:2017

**Table 26 – Standard values of prospective transient recovery voltage – Rated voltages of 100 kV and above**

Replace Table 26, modified by Amendment 1, by the following:

**Table 26 – Values of prospective TRV for circuit-breakers  
rated for  $k_{pp} = 1,2$  or  $1,3$  – Rated voltages of 100 kV and above**

| Rated voltage | Test-duty | First-pole-to-clear factor | Amplitude factor | First reference voltage | Time    | TRV peak value | Time           | Time delay | Voltage | Time     | Rate-of-rise           |
|---------------|-----------|----------------------------|------------------|-------------------------|---------|----------------|----------------|------------|---------|----------|------------------------|
| $U_r$         |           | $k_{pp}$                   | $k_{af}$         | $u_1$                   | $t_1$   | $u_c$          | $t_2$ or $t_3$ | $t_d$      | $u'$    | $t'$     | $u_1/t_1$<br>$u_c/t_3$ |
| kV            |           | p.u.                       | p.u.             | kV                      | $\mu s$ | kV             | $\mu s$        | $\mu s$    | kV      | $\mu s$  | kV/ $\mu s$            |
| 100           | T100      | 1,3                        | 1,40             | 80                      | 40      | 149            | 160            | 2 (11)     | 40      | 22 (31)  | 2                      |
|               | T60       | 1,3                        | 1,50             | 80                      | 27      | 159            | 162            | 2-8        | 40      | 15-21    | 3                      |
|               | T30       | 1,3                        | 1,54             | -                       | -       | 163            | 33             | 5          | 54      | 16       | 5                      |
|               | T10       | 1,5                        | $0,9 \times 1,7$ | -                       | -       | 187            | 27             | 4          | 62      | 13       | 7                      |
|               | OP1-OP2   | 2                          | 1,25             | 122                     | 80      | 204            | 160-320        | 2-8        | 61      | 42-48    | 1,54                   |
| 123           | T100      | 1,3                        | 1,40             | 98                      | 49      | 183            | 196            | 2 (14)     | 49      | 26 (38)  | 2                      |
|               | T60       | 1,3                        | 1,50             | 98                      | 33      | 196            | 198            | 2-10       | 49      | 18-26    | 3                      |
|               | T30       | 1,3                        | 1,54             | -                       | -       | 201            | 40             | 6          | 67      | 19       | 5                      |
|               | T10       | 1,5                        | $0,9 \times 1,7$ | -                       | -       | 230            | 33             | 5          | 77      | 16       | 7                      |
|               | OP1-OP2   | 2                          | 1,25             | 151                     | 98      | 251            | 196-392        | 2-10       | 75      | 51-59    | 1,54                   |
| 145           | T100      | 1,3                        | 1,40             | 115                     | 58      | 215            | 232            | 2 (16)     | 58      | 31 (45)  | 2                      |
|               | T60       | 1,3                        | 1,50             | 115                     | 38      | 231            | 228            | 2-12       | 58      | 21-31    | 3                      |
|               | T30       | 1,3                        | 1,54             | -                       | -       | 237            | 47             | 7          | 79      | 23       | 5                      |
|               | T10       | 1,5                        | $0,9 \times 1,7$ | -                       | -       | 272            | 39             | 6          | 91      | 19       | 7                      |
|               | OP1-OP2   | 2                          | 1,25             | 178                     | 116     | 296            | 232-464        | 2-12       | 89      | 60-70    | 1,54                   |
| 170           | T100      | 1,3                        | 1,40             | 135                     | 68      | 253            | 272            | 2 (19)     | 68      | 36 (53)  | 2                      |
|               | T60       | 1,3                        | 1,50             | 135                     | 45      | 271            | 270            | 2-14       | 68      | 25-36    | 3                      |
|               | T30       | 1,3                        | 1,54             | -                       | -       | 278            | 56             | 8          | 93      | 27       | 5                      |
|               | T10       | 1,5                        | $0,9 \times 1,7$ | -                       | -       | 319            | 46             | 7          | 106     | 22       | 7                      |
|               | OP1-OP2   | 2                          | 1,25             | 208                     | 136     | 347            | 272-544        | 2-14       | 104     | 70-82    | 1,54                   |
| 245           | T100      | 1,3                        | 1,40             | 195                     | 98      | 364            | 392            | 2 (27)     | 98      | 51 (76)  | 2                      |
|               | T60       | 1,3                        | 1,50             | 195                     | 65      | 390            | 390            | 2-20       | 98      | 35-52    | 3                      |
|               | T30       | 1,3                        | 1,54             | -                       | -       | 400            | 80             | 12         | 133     | 39       | 5                      |
|               | T10       | 1,3                        | 1,76             | -                       | -       | 459            | 66             | 10         | 153     | 32       | 7                      |
|               | OP1-OP2   | 2                          | 1,25             | 300                     | 196     | 500            | 392-784        | 2-20       | 150     | 99-117   | 1,54                   |
| 300           | T100      | 1,3                        | 1,40             | 239                     | 119     | 446            | 476            | 2 (33)     | 119     | 62 (93)  | 2                      |
|               | T60       | 1,3                        | 1,50             | 239                     | 80      | 478            | 480            | 2-24       | 119     | 42-64    | 3                      |
|               | T30       | 1,3                        | 1,54             | -                       | -       | 490            | 98             | 15         | 163     | 47       | 5                      |
|               | T10       | 1,3                        | 1,76             | -                       | -       | 562            | 80             | 12         | 187     | 39       | 7                      |
|               | OP1-OP2   | 2                          | 1,25             | 367                     | 238     | 612            | 476-952        | 2-24       | 184     | 121-143  | 1,54                   |
| 362           | T100      | 1,3                        | 1,40             | 288                     | 144     | 538            | 576            | 2 (40)     | 144     | 74 (112) | 2                      |
|               | T60       | 1,3                        | 1,50             | 288                     | 96      | 576            | 576            | 2-29       | 144     | 50-77    | 3                      |
|               | T30       | 1,3                        | 1,54             | -                       | -       | 592            | 118            | 18         | 197     | 57       | 5                      |
|               | T10       | 1,3                        | 1,76             | -                       | -       | 678            | 97             | 15         | 226     | 47       | 7                      |

| Rated voltage | Test-duty | First-pole-to-clear factor | Amplitude factor | First reference voltage | Time  | TRV peak value | Time           | Time delay | Voltage | Time      | Rate-of-rise           |
|---------------|-----------|----------------------------|------------------|-------------------------|-------|----------------|----------------|------------|---------|-----------|------------------------|
| $U_r$         |           | $k_{pp}$                   | $k_{af}$         | $u_1$                   | $t_1$ | $u_c$          | $t_2$ or $t_3$ | $t_d$      | $u'$    | $t'$      | $u_1/t_1$<br>$u_c/t_3$ |
|               | OP1-OP2   | 2                          | 1,25             | 443                     | 288   | 739            | 576-1152       | 2-29       | 222     | 146-173   | 1,54                   |
| 420           | T100      | 1,3                        | 1,40             | 334                     | 167   | 624            | 668            | 2 (47)     | 167     | 86 (130)  | 2                      |
|               | T60       | 1,3                        | 1,50             | 334                     | 111   | 669            | 666            | 2-33       | 167     | 58-89     | 3                      |
|               | T30       | 1,3                        | 1,54             | -                       | -     | 687            | 137            | 21         | 229     | 66        | 5                      |
|               | T10       | 1,3                        | 1,76             | -                       | -     | 787            | 112            | 17         | 262     | 54        | 7                      |
|               | OP1-OP2   | 2                          | 1,25             | 514                     | 334   | 857            | 668-1336       | 2-33       | 257     | 169-200   | 1,54                   |
| 550           | T100      | 1,3                        | 1,40             | 438                     | 219   | 817            | 876            | 2 (61)     | 219     | 111 (171) | 2                      |
|               | T60       | 1,3                        | 1,50             | 438                     | 146   | 876            | 876            | 2-44       | 219     | 75-117    | 3                      |
|               | T30       | 1,3                        | 1,54             | -                       | -     | 899            | 180            | 27         | 300     | 87        | 5                      |
|               | T10       | 1,3                        | 1,76             | -                       | -     | 1031           | 147            | 22         | 344     | 71        | 7                      |
|               | OP1-OP2   | 2                          | 1,25             | 674                     | 438   | 1123           | 876-1752       | 2-44       | 337     | 221-263   | 1,54                   |
| 800           | T100      | 1,3                        | 1,40             | 637                     | 318   | 1189           | 1272           | 2 (89)     | 318     | 161 (248) | 2                      |
|               | T60       | 1,3                        | 1,50             | 637                     | 212   | 1274           | 1272           | 2-64       | 318     | 108-170   | 3                      |
|               | T30       | 1,3                        | 1,54             | -                       | -     | 1308           | 262            | 39         | 436     | 126       | 5                      |
|               | T10       | 1,3                        | 1,76             | -                       | -     | 1499           | 214            | 32         | 500     | 103       | 7                      |
|               | OP1-OP2   | 2                          | 1,25             | 980                     | 636   | 1633           | 1272-2544      | 2-64       | 490     | 320-382   | 1,54                   |
| 1 100         | T100      | 1,2                        | 1,50             | 808                     | 404   | 1617           | 1212           | 2 (113)    | 404     | 204 (315) | 2                      |
|               | T60       | 1,2                        | 1,50             | 808                     | 269   | 1617           | 1212           | 2-81       | 404     | 137-216   | 3                      |
|               | T30       | 1,2                        | 1,54             | -                       | -     | 1660           | 332            | 50         | 553     | 161       | 5                      |
|               | T10       | 1,2                        | 1,76             | -                       | -     | 1897           | 271            | 41         | 632     | 131       | 7                      |
|               | OP1-OP2   | 2                          | 1,25             | -                       | -     | 2245           | 1458           | 2-73       | 748     | 488-559   | 1,54                   |
| 1 200         | T100      | 1,2                        | 1,50             | 882                     | 441   | 1764           | 1323           | 2 (123)    | 441     | 222 (343) | 2                      |
|               | T60       | 1,2                        | 1,50             | 882                     | 294   | 1764           | 1323           | 2-88       | 441     | 149-235   | 3                      |
|               | T30       | 1,2                        | 1,54             | -                       | -     | 1811           | 362            | 54         | 604     | 175       | 5                      |
|               | T10       | 1,2                        | 1,76             | -                       | -     | 2069           | 296            | 44         | 690     | 143       | 7                      |
|               | OP1-OP2   | 2                          | 1,25             | -                       | -     | 2449           | 1590           | 2-80       | 816     | 532-610   | 1,54                   |

NOTE 1 Where two values of times  $t_d$  and  $t'$  are given for test duty T100 separated by brackets, the time  $t_d$  in brackets is the upper limit of the time delay  $t_d$  that can be used for test-duty T100 if short-line fault tests are also made. For such cases, the delay line terminates at  $t'$  given in brackets. If this is not the case, the lower values of  $t_d$  and  $t'$  apply.

Where two values of times  $t_2$ ,  $t_d$  and  $t'$  are given for terminal fault test duties T60 and out-of-phase test duties OP1 and OP2, those indicate the lower and upper limits which should be used for testing. The time delay  $t_d$  and the time  $t'$  during testing should not be shorter than their respective lower limits and should not be longer than their respective upper limits.

NOTE 2  $k_{pp} = 1,5$  is specified for test-duty T10 for rated voltages of 100 kV up to and including 170 kV to cover transformer-limited fault conditions with  $X_0/X_1$  higher than 3,0 (for example non-effectively earthed transformers in effectively earthed neutral systems, or cases of transformers having one side effectively earthed and the other connected to non-effectively earthed neutral systems). The TRV specified covers also cases of 3-phase line faults with effectively earthed neutral systems ( $k_{pp} = 1,3$ ) where coupling between phases can lead to an amplitude factor of 1,76.

**Table 27 – Standard values of prospective transient recovery voltage – Rated voltages of 100 kV to 170 kV for non-effectively earthed neutral systems – Representation by four parameters (T100, T60, OP1 and OP2) or two parameters (T30 and T10)**

Replace the existing title of as follows:

**Table 27 – Values of prospective TRV for circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,5$  – Rated voltages of 100 kV to 170 kV**

*Replace NOTE 1, modified by Amendment 1, and NOTE 2 in Table 27 by the following:*

NOTE 1 Where two values of times  $t_d$  and  $t'$  are given for test duty T100 separated by brackets, the time  $t_d$  in brackets is the upper limit of the time delay  $t_d$  that can be used for test-duty T100 if short-line fault tests are also made. For such cases, the delay line terminates at  $t'$  given in brackets. If this is not the case, the lower values of  $t_d$  and  $t'$  apply.

Where two values of times  $t_2$ ,  $t_d$  and  $t'$  are given for terminal fault test duties T60 and out-of-phase test duties OP1 and OP2, those indicate the lower and upper limits which should be used for testing. The time delay  $t_d$  and the time  $t'$  during testing should not be shorter than their respective lower limits and should not be longer than their respective upper limits.

NOTE 2  $k_{pp} = 1,5$  is specified for test-duty T10 for rated voltages of 100 kV up to and including 170 kV to cover transformer-limited fault conditions with  $X_0/X_1$  higher than 3,0 (for example non-effectively earthed transformers in effectively earthed neutral systems, or cases of transformers having one side effectively earthed and the other connected to non-effectively earthed neutral systems).

*Add, at the end of 6.104.7, the following new subclauses*

#### **6.104.8 Initial transient recovery voltage (ITRV)**

Every part of the TRV wave may influence the interrupting capability of a circuit-breaker. The very beginning of the TRV may be of importance for some types of circuit-breakers. This part of the TRV, called initial TRV (ITRV), is caused by the initial oscillation of small amplitude due to reflections from the first major discontinuity along the busbar. Standard values are given in Table 7.

If a circuit-breaker for use in systems with a rated voltage equal to or less than 800 kV has a short-line fault rating, the ITRV requirements are covered if the short-line fault test-duty  $L_{90}$  is carried out using a line with a time delay less than 100 ns (see 6.104.5.2 and 6.109.3) unless both terminals are not identical from an electrical point of view (for instance when an additional capacitance is used as mentioned in Note 4 of 6.109.3). When terminals are not identical from an electrical point of view, test circuits which produce an equivalent TRV stress across the circuit-breaker may be used.

For circuit-breakers for use in systems with a rated voltage higher than 800 kV, the ITRV requirements are considered to be covered if the short-line fault test-duty  $L_{90}$  is carried out using a line with a time delay less than 100 ns and a surge impedance of 450  $\Omega$  unless both terminals are not identical from an electrical point of view (for instance when an additional capacitance is used as mentioned in Note 4 of 6.109.3). When terminals are not identical from an electrical point of view, test circuits which produce an equivalent TRV stress across the circuit-breaker may be used.

Since the ITRV is proportional to the busbar surge impedance and to the current, the ITRV requirements can be neglected for all circuit-breakers with a rated short-circuit breaking current of less than 25 kA and for circuit-breakers with a rated voltage below 100 kV. In addition the ITRV requirements can be neglected for circuit-breakers installed in metal enclosed gas insulated switchgear (GIS) because of the low surge impedance. ITRV requirements can also be neglected for circuit-breakers directly connected to a busbar with a total source side capacitance of more than 800 pF.

**Table 7 – Standard values of ITRV – Rated voltages 100 kV and above**

| Rated voltage<br><br>$U_r$<br>kV | Multiplying factor to determine $u_i$ as function of the r.m.s. value of the short-circuit breaking current $I_{sc}^*$ |       | Time<br><br>$t_i$<br>$\mu s$ |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------|
|                                  | $f_i$<br>kV/kA                                                                                                         |       |                              |
|                                  | 50 Hz                                                                                                                  | 60 Hz |                              |
| 100                              | 0,046                                                                                                                  | 0,055 | 0,4                          |
| 123                              | 0,046                                                                                                                  | 0,055 | 0,4                          |
| 145                              | 0,046                                                                                                                  | 0,055 | 0,4                          |
| 170                              | 0,058                                                                                                                  | 0,069 | 0,5                          |
| 245                              | 0,069                                                                                                                  | 0,083 | 0,6                          |
| 300                              | 0,081                                                                                                                  | 0,097 | 0,7                          |
| 362                              | 0,092                                                                                                                  | 0,111 | 0,8                          |
| 420                              | 0,092                                                                                                                  | 0,111 | 0,8                          |
| 550                              | 0,116                                                                                                                  | 0,139 | 1,0                          |
| 800                              | 0,159                                                                                                                  | 0,191 | 1,1                          |
| 1 100                            | 0,173                                                                                                                  | 0,208 | 1,5                          |
| 1 200                            | 0,173                                                                                                                  | 0,208 | 1,5                          |

NOTE These values cover both three-phase and single-phase faults and are based on the assumption that the busbar, including the elements connected to it (supports, current and voltage transformers, disconnectors, etc.), can be roughly represented by a resulting surge impedance  $Z_i$  of about 260  $\Omega$  with the exception of a rated voltage 800 kV for which the resulting surge impedance  $Z_i$  is about 325  $\Omega$ . The relation between  $f_i$  and  $t_i$  is then:

$$f_i = t_i \times Z_i \times \omega \times \sqrt{2}$$

where

$\omega = 2\pi f_r$  is the angular frequency corresponding to the rated frequency  $f_r$  of the circuit-breaker.

\* The actual initial peak voltages are obtained by multiplying the values in these columns by the r.m.s. value of the short-circuit current.

**6.104.9 Multipliers for TRV for second and third clearing poles**

The TRV is defined for the first-pole-to-clear. In order to obtain the values of RRRV and  $u_c$  for the second and third clearing poles, a multiplier shall be applied to the values of RRRV and  $u_c$  of the first clearing pole at the relevant first-pole-to-clear factor. The values of these multipliers are given in Table 6.

**Table 6 – Standard multipliers for TRV values for second and third clearing poles for rated voltages above 1 kV**

| First-pole-to-clear factor<br>$k_{pp}$     | Multipliers       |       |                   |       |
|--------------------------------------------|-------------------|-------|-------------------|-------|
|                                            | 2nd clearing pole |       | 3rd clearing pole |       |
|                                            | RRRV              | $u_c$ | RRRV              | $u_c$ |
| 1,2 (terminal fault)<br>2,0 (out-of-phase) | 0,95              | 0,95  | 0,83              | 0,83  |
| 1,3 (terminal fault)<br>2,0 (out-of-phase) | 0,95              | 0,97  | 0,70              | 0,77  |
| 1,5 (terminal fault)<br>2,5 (out-of-phase) | 0,70              | 0,58  | 0,70              | 0,58  |

The multipliers of Table 6 have been calculated under the following assumptions:

- only three-phase earthed faults are considered;
- the rate of rise of recovery voltage (RRRV) at 100 % short-circuit currents is mainly determined by overhead lines and is calculated as the product of  $di/dt$  at current zero and the equivalent surge impedance;
- the equivalent surge impedance is calculated from the zero sequence ( $Z_0$ ) and positive sequence ( $Z_1$ ) surge impedances seen from the terminals of the circuit-breaker. For the relation of  $Z_0/Z_1$  a value of approximately 2 has been chosen;
- the peak value of TRV ( $u_c$ ) is proportional to the instantaneous value of power frequency recovery voltage at interruption.

See also Figures 13 and 14 and IEC TR 62271-306.

NOTE 1 This table is valid for test-duties T10, T30, T60, T100s, T100a, OP1 and OP2.

NOTE 2 The values are rounded values, depending on  $Z_0/Z_1$  of the TRV circuits, the time constant of the system and the rated voltages.

For three-phase testing the test circuit shall be designed to achieve the prospective  $u_c$  values for the second and third clearing poles. It is not necessary to achieve the prospective RRRV values.

#### 6.106 Basic short-circuit test-duties

*Add, at the end of the first paragraph, the following sentence:*

Tests carried out with rapid auto-reclosing sequence cover testing without rapid auto-reclosing.

##### 6.106.1 Test-duty T10

*Replace the paragraph by the following:*

Test-duty T10 consists of the rated operating sequence at 10 % of the rated short-circuit breaking current with a d.c. component at contact separation not exceeding 20 % and a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.5 and 6.104.7 (see also Tables 24, 25, 43, 44, 26 and 27).

##### 6.106.2 Test-duty T30

*Replace the paragraph by the following:*

Test-duty T30 consists of the rated operating sequence at 30 % of the rated short-circuit breaking current with a d.c. component at contact separation not exceeding 20 % and a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.4 and 6.104.7 (see also Tables 24, 25, 43, 44, 26 and 27).

##### 6.106.3 Test-duty T60

*Replace the paragraph by the following:*

Test-duty T60 consists of the rated operating sequence at 60 % of the rated short-circuit breaking current with a d.c. component at contact separation not exceeding 20 % and a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.3 and 6.104.7 (see also Tables 24, 25, 43, 44, 26 and 27).

#### **6.106.4 Test-duty T100s**

*Replace the first paragraph by the following:*

Test-duty T100s consists of the rated operating sequence at 100 % of the rated short-circuit breaking current taking account of 6.104.3, and with a transient and power frequency recovery voltage as specified in 6.104.5.2 and 6.104.7 (see also Tables 24, 25, 43, 44, 26 and 27) and 100 % of the rated short-circuit making current taking account of 6.104.2 and an applied voltage as specified in 6.104.1.

#### **6.106.5 Test-duty T100a**

*Replace the paragraph starting with "Test-duty T100a consists" by the following:*

Test-duty T100a consists of three opening operations at 100 % of the rated short-circuit breaking current with the required asymmetry criteria regarding the peak and duration of the last major loop and the related arcing time conditions given in 6.102.10 and a transient and prospective power frequency recovery voltage under symmetrical conditions as specified in 6.104.5.2 and 6.104.7.

*Delete the paragraph above the note.*

*Replace the note by the following paragraph:*

The change of an opening or a closing release does not constitute an alternative operating mechanism. If the opening time of the circuit-breaker is reduced due exclusively, to the use of a faster acting release, it should be checked whether the range of the minimum clearing time, as stated in Tables 39 and 40 for this release, is still covered by tests performed with the initial release. If the circuit-breaker falls into a range with shorter minimum clearing times, it is sufficient to repeat test-duty T100a only for that range, the rest of the type tests remains valid, provided the release is tested to the relevant subclauses and standards.

#### **6.106.6 Asymmetry criteria**

*Delete the entire subclause, including 6.106.1 to 6.106.6.3.*

#### **6.109.1 Applicability**

*Replace the second paragraph, added by Amendment 1, by the following:*

Short-line faults tests are required for circuit-breakers intended for direct connection to overhead lines, having a rated voltage equal to or higher than 15 kV and a rated short-circuit breaking current exceeding 12,5 kA (see 4.105).

#### **6.109.2 Test current**

*In the last sentence of this subclause replace "Annex J and Clause L.3" by "IEC TR 62271-306".*

#### **6.109.3 Test circuit**

*Replace the first paragraph by the following:*

The test circuit shall be single-phase and consists of a supply circuit and a line circuit (see Figures 46, 47 and 48). The source side TRV shall be based on a first-pole-to-clear factor of 1,0. The values of line characteristics are given in Table 8. The basic requirements are:

- values of the RRRV factor, based on the line surge impedance  $Z$ , the peak factor  $k$  and the line side time delay  $t_{dL}$  are given in Table 8. For determination of the line side time delay and the rate-of-rise of the line side voltage, see Figure 16;
- the method for calculation of TRVs from the characteristics is given in Annex A.

**Table 8 – Values of line characteristics for short-line faults**

| Rated voltage<br>$U_r$<br>kV                                                                                                                                                                                                                                  | Surge impedance<br>$Z$<br>$\Omega$ | Peak factor<br>$k$ | RRRV factor                   |       | Time delay<br>$t_{dL}$<br>$\mu\text{s}$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------|-----------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                               |                                    |                    | 50 Hz                         | 60 Hz |                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                               |                                    |                    | $s^b$<br>kV/ $\mu\text{s}$ kA |       |                                         |
| $15 \leq U_r \leq 38$                                                                                                                                                                                                                                         | 450                                | 1,6                | 0,200                         | 0,240 | 0,1                                     |
| $48,3 \leq U_r \leq 170$                                                                                                                                                                                                                                      | 450                                | 1,6                | 0,200                         | 0,240 | 0,2                                     |
| $245 \leq U_r \leq 800$                                                                                                                                                                                                                                       | 450                                | 1,6                | 0,200                         | 0,240 | 0,5                                     |
| $U_r > 800$                                                                                                                                                                                                                                                   | 330 <sup>a</sup>                   | 1,6                | 0,147                         | 0,176 | 0,5                                     |
| NOTE These values cover the short-line faults dealt with in this standard. For very short lines ( $t_L < 5t_{dL}$ ) not all requirements as given in the table can be met. The procedures for approaching very short lines are given in IEC TR 62271-306 [4]. |                                    |                    |                               |       |                                         |
| <sup>a</sup> As described in 4.104.7, a value of 450 $\Omega$ may be used during testing to cover ITRV requirements.                                                                                                                                          |                                    |                    |                               |       |                                         |
| <sup>b</sup> For the RRRV factor $s$ , see Annex A.                                                                                                                                                                                                           |                                    |                    |                               |       |                                         |

Replace the last sentence of the second paragraph after b2), added by Amendment 1, as follows:

The tangent on the portion between 0 and  $0,2 \times u_L$  on the line-side TRV drawn in parallel to the line through  $0,2 \times u_L$  and  $0,8 \times u_L$  crosses the zero line at a time  $t_{dL}$ . See also 7.3.1.1 of IEC 62271-306:2012.

#### 6.109.4 Test-duties

Add the following sentence and new Table 49 after the second paragraph:

The prospective TRV of the supply circuit shall be in accordance with Table 49.

**Table 49 – Values of prospective TRV for the supply circuit  
of short-line fault tests**

| Rated voltage     | First-pole-to-clear factor | Amplitude factor | First reference voltage | Time  | TRV peak value | Time           | Time delay | Voltage | Time | RRRV <sup>a</sup>         |
|-------------------|----------------------------|------------------|-------------------------|-------|----------------|----------------|------------|---------|------|---------------------------|
| $U_r$             | $k_{pp}$                   | $k_{af}$         | $u_1$                   | $t_1$ | $u_c$          | $t_2$ or $t_3$ | $t_d$      | $u'$    | $t'$ | $\frac{u_1/t_1}{u_c/t_3}$ |
| kV                | p.u.                       | p.u.             | kV                      | µs    | kV             | µs             | µs         | kV      | µs   | kV/µs                     |
| 15                | 1                          | 1,54             | -                       | -     | 18,9           | 31             | 2          | 6,3     | 12   | 0,61                      |
| 15,5 <sup>b</sup> | 1                          | 1,54             | -                       | -     | 19,5           | 31             | 2          | 6,5     | 12   | 0,63                      |
| 17,5              | 1                          | 1,54             | -                       | -     | 22,0           | 34             | 2          | 7,3     | 13   | 0,65                      |
| 24                | 1                          | 1,54             | -                       | -     | 30,2           | 43             | 2          | 10,1    | 16   | 0,70                      |
| 25,8 <sup>b</sup> | 1                          | 1,54             | -                       | -     | 32,4           | 45             | 2          | 10,8    | 17   | 0,72                      |
| 27 <sup>b</sup>   | 1                          | 1,54             | -                       | -     | 33,9           | 45             | 2          | 11,3    | 17   | 0,75                      |
| 36                | 1                          | 1,54             | -                       | -     | 45,3           | 57             | 3          | 15,1    | 22   | 0,79                      |
| 38 <sup>b</sup>   | 1                          | 1,54             | -                       | -     | 47,8           | 59             | 3          | 15,9    | 23   | 0,81                      |
| 48,3 <sup>b</sup> | 1                          | 1,54             | -                       | -     | 60,7           | 70             | 4          | 20,2    | 27   | 0,87                      |
| 52                | 1                          | 1,54             | -                       | -     | 65,4           | 74             | 4          | 21,8    | 28   | 0,88                      |
| 72,5              | 1                          | 1,54             | -                       | -     | 91,2           | 93             | 5          | 30,4    | 36   | 0,98                      |
| 100               | 1                          | 1,40             | 61                      | 31    | 114            | 124            | 2          | 31      | 17   | 2                         |
| 123               | 1                          | 1,40             | 75                      | 38    | 141            | 152            | 2          | 38      | 21   | 2                         |
| 145               | 1                          | 1,40             | 89                      | 44    | 166            | 176            | 2          | 44      | 24   | 2                         |
| 170               | 1                          | 1,40             | 104                     | 52    | 194            | 208            | 2          | 52      | 28   | 2                         |
| 245               | 1                          | 1,40             | 150                     | 75    | 280            | 300            | 2          | 75      | 40   | 2                         |
| 300               | 1                          | 1,40             | 184                     | 92    | 343            | 368            | 2          | 92      | 48   | 2                         |
| 362               | 1                          | 1,40             | 222                     | 111   | 414            | 444            | 2          | 111     | 57   | 2                         |
| 420               | 1                          | 1,40             | 257                     | 129   | 480            | 516            | 2          | 129     | 66   | 2                         |
| 550               | 1                          | 1,40             | 337                     | 168   | 629            | 672            | 2          | 168     | 86   | 2                         |
| 800               | 1                          | 1,40             | 490                     | 245   | 914            | 980            | 2          | 245     | 124  | 2                         |
| 1 100             | 1                          | 1,50             | 674                     | 337   | 1 347          | 1 011          | 2          | 337     | 170  | 2                         |
| 1 200             | 1                          | 1,50             | 735                     | 367   | 1 470          | 1 101          | 2          | 367     | 186  | 2                         |

<sup>a</sup> RRRV = rate of rise of recovery voltage.

<sup>b</sup> Used in some countries.

**6.110.2 Test voltage**

Replace the last sentence by the following:

The TRV shall be in accordance with 6.104.5.6.

**6.111 Capacitive current switching tests**

Replace the entire subclause by the following:

## **6.111 Capacitive current switching tests**

### **6.111.1 General**

This subclause describes capacitive current tests procedures for the different ratings defined in 4.107 and their associated restrike class.

Ratings and class demonstrated for back-to-back capacitor bank current switching are also valid for single capacitor bank current switching.

Tests at 60 Hz cover tests for 50 Hz for same class of probability of restrike.

Tests at 50 Hz cover tests for 60 Hz, provided that the voltage across the circuit-breaker is not less during the first 8,3 ms than it would be during a test at 60 Hz.

### **6.111.2 Applicability**

Capacitive current switching tests are applicable to all circuit-breakers to which one or more of the following ratings have been assigned:

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

Preferred values of rated capacitive switching currents are given in Table 9.

Tests specified for these ratings are individual type tests, each comprising a tests series with two test-duties.

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

NOTE 2 Explanatory notes on capacitive current switching are given in IEC TR 62271-306 [4].

### **6.111.3 Characteristics of supply circuits**

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 shall fulfil the following requirements:

- a) the characteristics of the test circuit should be such that the power frequency voltage variation, when switching, should be less than 2 % for test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1) and less than 5 % for test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2). Where the voltage variation is higher than the values specified, it is alternatively permissible to perform tests with the specified recovery voltage (6.111.10) or synthetic tests;
- b) the impedance of the supply circuit shall not be so low that its short-circuit current exceeds the rated short-circuit current of the circuit-breaker.

For line-charging, cable-charging and single capacitor bank current switching tests the prospective TRV of the supply circuit shall not be more severe than the TRV specified for test-duty T100s in 6.104.5.2.

For back-to-back capacitor bank current switching tests, the capacitance of the supply circuit and the impedance between the capacitors on the supply and load sides shall be such as to give the rated back-to-back capacitor bank inrush making current when testing with 100 % of the rated back-to-back capacitor bank breaking current.

For back-to-back capacitor bank current switching tests where separate making tests are performed, a lower capacitance of the supply circuit may be chosen for the breaking tests. The capacitance should, however, not be so low that the prospective TRV of the supply side exceeds that specified for short-circuit in 6.104.5.2.

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

#### **6.111.4 Earthing of the test circuit**

##### **6.111.4.1 Supply circuit**

For single-phase laboratory tests, either terminal of the single-phase supply circuit can be earthed. However, when it is necessary to ensure that the correct voltage distribution exists between the units of the circuit-breaker, another point of the supply circuit may be connected to earth.

For three-phase tests, the earthing of the supply circuit shall be as follows:

- a) for capacitor bank current switching tests, the neutral of the supply circuit shall be earthed. For capacitor banks with effectively earthed neutral, the zero sequence impedance shall not be more than three times its positive sequence impedance. For capacitor banks with isolated neutral this ratio is not relevant;
- b) for line-charging and cable-charging current switching tests, the earthing of the supply circuit should correspond to the earthing conditions in circuits for which the circuit-breaker is to be used:
  - for three-phase tests of a circuit-breaker intended for use in effectively earthed neutral systems, the neutral point of the supply circuit shall be earthed and its zero sequence impedance shall be no more than three times its positive sequence impedance;
  - for three-phase tests of a circuit-breaker intended for use in non-effectively earthed neutral systems, the neutral point of the supply side shall be isolated.

For convenience of testing, an alternative test circuit can be used as long as the equivalent values of the recovery voltage as given in Tables O.1 and O.2 will be obtained.

Attention should be given to the influence of TRV control capacitors on the values of the recovery voltage especially for low capacitive currents. Table 32 gives values of the required recovery voltage.

##### **6.111.4.2 Load circuit for three-phase capacitor bank current switching tests**

Tests performed with an isolated capacitor bank neutral do cover the switching performance of capacitor banks having an earthed neutral. However, tests performed with an earthed supply and an earthed capacitor bank neutral are not valid for demonstrating the switching performance of capacitor banks with isolated neutral.

#### **6.111.5 Characteristics of the capacitive circuit to be switched**

##### **6.111.5.1 General**

There are three possibilities:

- a) three-phase tests, where in case of line- or cable-charging current switching tests it is permissible to use parallel lines or cables respectively or to partly, or fully, replace the real three-phase line or cable with concentrated capacitor banks. The resulting positive sequence capacitance shall be twice the zero sequence capacitance for tests representing three-core belted cables for rated voltages higher than 72,5 kV, and three times the zero sequence capacitance for rated voltages up to and including 72,5 kV;

- b) single-phase tests in a three-phase test circuit with two phases of the capacitive circuit connected directly to the three-phase supply circuit and one phase connected to the supply circuit through the circuit-breaker pole to be tested;
- c) single-phase laboratory tests, where in case of line- or cable-charging current switching tests it is allowed to replace partly or fully the real lines or cables respectively by concentrated capacitor banks and to use any parallel connection of the conductors in the individual phases with the return current through earth or through a conductor.

The characteristics of the capacitive circuit shall, with all necessary measuring devices such as voltage dividers included, be such that the decay of the voltage at load side does not exceed 10 % at the end of an interval of 0,3 s after final arc extinction, except for test-duty LC1 and/or CC1 as the withstand capability during an interval of 0,3 s is demonstrated by any test-duty 2.

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

#### **6.111.5.2 Line-charging and cable-charging current switching tests**

When capacitors are used to simulate overhead lines or cables, a non-inductive resistor of a maximum value of 5 % of the capacitive impedance may be inserted in series with the capacitors. Higher values may unduly influence the recovery voltage. If, with this resistor connected, the peak inrush current is still unacceptably high, then an alternative impedance (for example LR) may be used instead of the resistor.

Caution is needed when using such alternative impedances, since this impedance can generate an overvoltage after re-ignition, which may lead to further re-ignitions or restrikes.

#### **6.111.5.3 Capacitor bank current switching tests**

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

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

The prospective damping factor for the inrush current during back-to-back switching, i.e. the ratio between the second peak and the first peak of the same polarity, shall be equal to or greater than 0,75 for circuit-breakers having a rated voltage up to and including 72,5 kV and equal to or greater than 0,85 for circuit-breakers having a rated voltage higher than 72,5 kV.

A non-inductive resistor of a maximum value of 5 % of the capacitive impedance may be inserted in series with the capacitors for testing single-capacitor bank current switching (making and breaking) and for back-to-back capacitor bank current switching (breaking). Higher values may unduly influence the recovery voltage and the inrush making current.

#### **6.111.6 Waveform of the current**

The waveform of the current to be interrupted should, as nearly as possible, be sinusoidal. This condition is considered to be complied with if the ratio of the r.m.s. value of the current to the r.m.s. value of the fundamental component does not exceed 1,2.

The current to be interrupted shall not go through zero more than once per half-cycle of power frequency.

#### **6.111.7 Test voltage**

For direct three-phase tests and for single-phase tests with the capacitive circuit to be switched according to the arrangement in item b) of 6.111.5.1, the test voltage measured

between the phases across the capacitive load circuit immediately prior to opening shall be not less than the rated voltage  $U_r$  of the circuit-breaker.

For direct single-phase laboratory tests, the test voltage measured at the circuit-breaker location immediately prior to opening shall be not less than the product of  $U_r/\sqrt{3}$  and the following capacitive voltage factor  $k_c$ :

- a)  $k_c = 1,0$  for tests corresponding to normal service in effectively earthed neutral systems without significant mutual influence of adjacent phases of the capacitive circuit, typically capacitor banks with earthed neutral and individually screened cables.
- b)  $k_c = 1,2$  for tests on belted cables and for line-charging current switching tests according to item c) of 6.111.5.1 corresponding to normal service conditions in effectively earthed neutral systems for rated voltages higher than 72,5 kV.
- c)  $k_c = 1,4$  for tests corresponding to
  - breaking during normal service conditions in non-effectively earthed neutral systems;
  - breaking of capacitor banks with isolated neutral.

Moreover, the  $k_c = 1,4$  is applicable for tests on belted cables and for line-charging current switching according to item c) of 6.111.5.1 corresponding to normal service conditions in effectively earthed neutral systems for rated voltages up to and including 72,5 kV.

For unit tests, the test voltage shall be chosen to correspond to the most stressed unit of the pole of the circuit-breaker.

The power frequency test voltage and the d.c. voltage resulting from the trapped charge on the capacitive circuit shall be maintained for a period of at least 0,3 s after breaking.

NOTE The voltage factors in b) and c) above are applicable to single circuit line construction. Switching test requirements for multiple circuit overhead line constructions may be greater than these factors.

Switching capacitive currents under earth fault conditions is treated in Annex S.

### 6.111.8 Test current

The test currents for the various test-duties can be derived using Table 30.

### 6.111.9 Test-duties

#### 6.111.9.1 General

The two test-duties for LC, CC or BC shall be performed on one test object without any maintenance. The following abbreviations apply:

- line-charging current, test-duty 1 LC1;
- line-charging current, test-duty 2 LC2;
- cable-charging current, test-duty 1 CC1;
- cable-charging current, test-duty 2 CC2;
- capacitor bank current, test-duty 1 BC1;
- capacitor bank current, test-duty 2 BC2.

These test-duties may be combined for the same class of restrike performance in order to demonstrate the performance of a circuit-breaker for covering several ratings (for example LC and/or CC and/or BC). If such combination method is used, the following rules apply:

The test-duties and test currents shall be as follows:

- a test-duty 2, covering all test-duties 2 of the combination, with a current not less than 100 % of the highest capacitive current rating to be demonstrated;

- a test-duty 1 with a current between 10 % and 40 % of the highest capacitive current rating to be demonstrated;
- a test-duty 1 for each lower capacitive current rating if the range of 10 % to 40 % of that rating is not covered by a previous test-duty 1;
- all other requirements for the individual test-duties shall also be met (for example type, order and number of operations, pressure conditions and test circuits). Where CO operations are specified for one application and O operations for a different one, CO operations are considered to cover O operations if the testing conditions are the same.

NOTE IEC TR 62271-306 [4] provides examples of the application of the rules for combining test duties

### 6.111.9.2 Common test conditions for class C1 and C2 performance

For the make-break tests, the contacts of the circuit-breaker shall not be separated until the transient currents have subsided. To achieve this, the time between the closing and opening operations may need to be adjusted but shall remain as close as possible to the close-open time as defined in 3.7.143.

Common requirements for capacitive current switching test duties are given in Table 30.

**Table 30 – Common requirements for test-duties**

| Test-duty                                                                                                                               | Operating voltage of the releases | Pressure for operation and interruption | Test current as percentage of the rated capacitive breaking current<br>% | Type of operation or operating sequence |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| LC1, CC1 and BC1                                                                                                                        | Maximum voltage                   | Minimum functional pressure             | 10 to 40                                                                 | O                                       |
| LC2, CC2 and BC2                                                                                                                        | Maximum voltage                   | Rated pressure                          | Not less than 100                                                        | O and CO or CO                          |
| NOTE 1 The tests are performed at maximum operating voltage of the releases in order to facilitate consistent control during operation. |                                   |                                         |                                                                          |                                         |
| NOTE 2 For convenience of testing, CO operating cycles may be performed in test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1).                              |                                   |                                         |                                                                          |                                         |

For sealed pressure system circuit-breakers, the minimum functional pressure is replaced by the rated pressure for interruption reduced by the pressure drop due to leakage during life duration. For vacuum circuit-breakers the pressure conditions for interruption are not applicable

No appreciable charge shall remain on the capacitive circuits before the making operations.

In case of three-phase back-to-back capacitor bank current switching tests with non-effectively earthed neutral on supply side and/or load side the making operation is considered to be valid if the following conditions are met:

- the target phase was involved in two-phase making where the making shall occur within  $\pm 25^\circ$  of the peak value of the line-to-line voltage of these two phases, or
- the making in the target phase shall occur within  $\pm 25^\circ$  of the peak value of the applied voltage in case of a three-phase simultaneous making.

For single-phase back-to-back making operations, the making shall occur within  $\pm 25^\circ$  of the peak value of the applied voltage and evenly distributed in both polarities.

For line-charging and cable-charging switching tests the C operations may be no-load operations. For the C operations in single capacitor bank tests the making current provided by the test circuit is considered to be sufficient.

Where in case of back-to-back capacitor bank current switching tests it is not possible to comply with the requirements during the CO operating cycles, then it is permitted to perform the requirements of test-duty 2 (BC2) as a series of separate making tests followed by a series of CO tests.

It is also permitted to perform these split tests not in two subsequent blocks, one consisting of all C operations and one of all CO operations, but to mix C and CO operations provided the number of making operations is larger than or equal to the number of breaking operations at any time during this test.

The separate making tests of this test series shall comprise the following:

- the same number of operations, when testing back-to-back capacitor bank current switching the prospective inrush making current shall be at least equal to the rated back-to-back capacitor bank inrush making current;
- the target phase was involved in two-phase making where the making shall occur within  $\pm 25^\circ$  of the peak value of the line-to-line voltage of these two phases, or
- the making in the target phase shall occur within  $\pm 25^\circ$  of the peak value of the applied voltage in case of a three-phase simultaneous making.

For single-phase back-to-back making operations, the making shall occur within  $\pm 25^\circ$  of the peak value of the applied voltage and evenly distributed in both polarities.

The test voltage shall be the phase-to-earth voltage.

After the separate making operations, the CO operations shall be performed with no-load conditions on the closing. The CO operations shall be carried out on the same pole without intermediate re-conditioning.

NOTE When switching capacitive currents, the opening operation in a CO operating cycle is not influenced by the pre-arc of the preceding closing operation but can be impacted by the actual behaviour of the fluid for interruption caused by the closing operation (for example local differences in density, turbulence, fluid motion). Therefore, the closing and opening operations may be separated as mentioned above with regard to the electrical stress but not with regard to the motion conditions of the fluid for interruption. A no-load closing operation prior to the opening operation is necessary for these reasons.

For opening operations, the minimum arcing time is determined by changing the setting of the contact separation on opening by steps of approximately  $6^\circ$ . Using this method, several tests may be necessary to demonstrate the minimum arcing time.

If a different arcing time is obtained instead of an expected minimum arcing time, this is a valid test and shall be included in the count for the total requirement. In such an event the following will be necessary:

- advance the setting of the control of the tripping impulse by  $6^\circ$  and repeat the test. The new setting shall be kept for other tests at minimum arcing time;
- make one less opening operation to retain the overall total count of tests.

A re-ignition followed by interruption at a later current zero shall be treated as a breaking operation with a long arcing time.

The specified arcing times generally refer to the first pole-to-clear. No arcing times are specified for the additional tests.

All required minimum arcing times shall be obtained on the same phase. In case of capacitor bank current switching the inrush current shall be achieved also in that phase. Within each test-duty, the order of the operations as written in 6.111.9.3.2, 6.111.9.3.3 and 6.111.9.4.2 to 6.111.9.4.4 is not mandatory.

For circuit-breakers with a non-symmetrical current path, the terminal connections shall be reversed between test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1) and test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2). The test arrangement should be such that no interference with the circuit-breaker between the test-duties is necessary. However, if this is not possible, it is allowed to decrease the pressure in the circuit-breaker, in this case the circuit-breaker has to be refilled with at least 50 % of the used gas.

### **6.111.9.3 Class C1 test-duties**

#### **6.111.9.3.1 General**

If the behaviour of the circuit-breaker prevents accurate control, the total number of tests is limited to 36 for each test-duty.

There is no preferred order for the following tests:

- capacitive current switching, test-duty 1 (LC1 or CC1 or BC1);
- capacitive current switching, test-duty 2 (LC2 or CC2 or BC2).

#### **6.111.9.3.2 Three-phase capacitive current switching tests**

Test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1) shall comprise a total of 24 O tests. Test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2) shall comprise a total of 24 CO tests.

*Test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1):*

- 6 O, distributed on one polarity (step: 10°);
- 3 O at minimum arcing time on one polarity;
- 6 O, distributed on the other polarity (step: 10°);
- 3 O at minimum arcing time on the other polarity;
- additional tests to achieve 24 O, distributed.

*Test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2):*

- 6 CO, distributed on one polarity (step: 10°);
- 3 CO at minimum arcing time on one polarity;
- 6 CO, distributed on the other polarity (step: 10°);
- 3 CO at minimum arcing time on the other polarity;
- additional tests to achieve 24 CO, distributed.

#### **6.111.9.3.3 Single-phase capacitive current switching tests**

Test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1) shall comprise a total of 24 O tests. Test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2) shall comprise a total of 24 CO tests.

*Test-duty 1 (LC1, CC1 and BC1):*

- 6 O, distributed on one polarity (step: 30°);
- 3 O at minimum arcing time on one polarity;
- 6 O, distributed on the other polarity (step: 30°);
- 3 O at minimum arcing time on the other polarity;

- additional tests to achieve 24 O, distributed.

*Test-duty 2 (LC2, CC2 and BC2):*

- 6 CO, distributed on one polarity (step: 30°);
- 3 CO at minimum arcing time on one polarity;
- 6 CO, distributed on the other polarity (step: 30°);
- 3 CO at minimum arcing time on the other polarity;
- additional tests to achieve 24 CO, distributed.

#### **6.111.9.4 Class C2 test-duties**

##### **6.111.9.4.1 General**

Capacitive current switching tests for class C2 circuit-breakers shall be made after performing test-duty T60 as a preconditioning test (T60 is related to the a.c. component of the rated short-circuit breaking current).

As an alternative, the preconditioning may be performed at reduced voltage under the following conditions:

- same current as test-duty T60;
- reduced voltage and no specified TRV;
- three breaking operations;
- arcing times: as for test-duty T60 given by the manufacturer;
- rated or minimum functional pressure for operation and interruption.

NOTE 1 For practical reasons the manufacturer can choose to add other test-duties to the T60 preconditioning tests.

NOTE 2 If several capacitive current switching tests, for instance line-charging, cable-charging and capacitor bank current switching tests, are performed with the same circuit-breaker without reconditioning, the T60 preconditioning tests need to be performed only once at the beginning of the capacitive current switching tests.

For the line-charging or cable-charging current switching tests, there is no preferred order between test-duty 1 and test-duty 2.

The mandatory order for capacitor bank (single or back-to-back) current switching tests is as follows:

- capacitive current switching, test-duty 2 (BC2);
- capacitive current switching, test-duty 1 (BC1).

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

Each test-duty shall comprise a total of 24 operations or operating cycles as follows:

*Test-duty 1 (LC1 and CC1):*

- 4 O, distributed on one polarity (step: 15°);
- 6 O at minimum arcing time on one polarity;
- 4 O, distributed on the other polarity (step: 15°);
- 6 O at minimum arcing time on the other polarity;
- additional tests to achieve 24 O, distributed.

*Test-duty 2 (LC2 and CC2):*

- 4 CO, distributed on one polarity (step: 15°);

- 6 CO at minimum arcing time on one polarity;
- 4 CO, distributed on the other polarity (step: 15°);
- 6 CO at minimum arcing time on the other polarity;
- additional tests to achieve 24 CO, distributed.

If the behaviour of the circuit-breaker prevents accurate control, the total number of tests is limited to 36 for each test-duty independent from arcing times obtained.

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

Each test-duty shall comprise a total requirement of 48 operations or operating cycles as follows:

##### *Test-duty 1 (LC1 and CC1):*

- 12 O, distributed on one polarity (step: 15°);
- 6 O at minimum arcing time on one polarity;
- 12 O, distributed on the other polarity (step: 15°);
- 6 O at minimum arcing time on the other polarity;
- additional tests to achieve 48 O, distributed.

If the behaviour of the circuit-breaker prevents accurate control, the total number of tests is limited to 72 independent from arcing times obtained.

##### *Test-duty 2 (LC2 and CC2):*

- 6 O and 6 CO, distributed on one polarity (step 30°);
- 3 O and 3 CO at minimum arcing time on one polarity;
- 6 O and 6 CO, distributed on the other polarity (step: 30°);
- 3 O and 3 CO at minimum arcing time on the other polarity;
- additional tests to achieve 24 O and 24 CO, distributed.

If the behaviour of the circuit-breaker prevents accurate control, the total number of tests is limited to 36 O and 36 CO independent from arcing times obtained.

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

Test-duty 1 (BC1) shall comprise a total of 24 O tests. Test-duty 2 (BC2) shall comprise a total of 80 CO tests as follows:

##### *Test-duty 1 (BC1):*

- 4 O, distributed on one polarity (step: 15°);
- 6 O at minimum arcing time on one polarity;
- 4 O, distributed on the other polarity (step: 15°);
- 6 O at minimum arcing time on the other polarity;
- additional tests to achieve 24 O, distributed.

If the behaviour of the circuit-breaker prevents accurate control, the total number of tests is limited to 36 independent from arcing times obtained.

##### *Test-duty 2 (BC2):*

- 4 CO, distributed on one polarity (step 15°);
- 32 CO at minimum arcing time on one polarity;
- 4 CO, distributed on the other polarity (step: 15°);
- 32 CO at minimum arcing time on the other polarity;
- additional tests to achieve 80 CO, distributed.

If the behaviour of the circuit-breaker prevents accurate control, the total number of tests is limited to 100 independent from arcing times and making conditions obtained.

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

Test-duty 1 (BC1) shall comprise a total of 48 O tests. Test-duty 2 (BC2) shall comprise a total of 80 CO tests at minimum arcing time with the making within  $\pm 25^\circ$  of the peak value of the applied voltage and 40 CO tests, where the C operations may be no-load operations.

##### *Test-duty 1 (BC1):*

- 12 O, distributed on one polarity (step: 15°);
- 6 O at minimum arcing time on one polarity;
- 12 O, distributed on the other polarity (step: 15°);
- 6 O at minimum arcing time on the other polarity;
- additional tests to achieve 48 O, distributed.

If the behaviour of the circuit-breaker prevents accurate control, the total number of tests is limited to 72 independent from arcing times obtained.

##### *Test-duty 2 (BC2):*

- 12 CO, distributed on one polarity (step: 15°);
- 40 CO at minimum arcing time on one polarity;
- 12 CO, distributed on the other polarity (step: 15°);
- 40 CO at minimum arcing time on the other polarity;
- Additional tests to achieve 120 CO, distributed (step: 15°).

If the behaviour of the circuit-breaker prevents accurate control, the total number of tests to meet the requirement for making angle is limited to 100 and the total number of tests is limited to 158 independent of the arcing times obtained.

#### **6.111.10 Tests with specified recovery voltage**

As an alternative to using the test circuits defined in 6.111.3 through 6.111.5, switching tests may be performed in circuits which fulfil the following requirements for the prospective recovery voltage:

- with the envelope of the prospective test recovery voltage defined as (see Figure 54)
 
$$u'_c \geq u_c$$

$$t'_2 \leq t_2;$$
- in addition the initial part of the prospective recovery voltage shall remain below the line from the origin to the point defined by  $u_1$  and  $t_1$ ;
- care should be taken in order to assure that the actual recovery voltage shall not exceed the theoretical test voltage of the corresponding single-phase direct test (1-cos curve) by more than 6 % of the peak value of the test voltage (i.e. approximately 3 % of the peak recovery voltage  $u_c$  shown in Figure 54).

NOTE The use of a series resistor (6.111.5.2 and 6.111.5.3) in the load circuit causes a phase shift which may lead to the above given limit be exceeded. In those cases the value of the resistor may be decreased or an appropriate LR circuit may be used instead (6.111.5.2 and 6.111.5.3).

Specified values of  $u_1$ ,  $t_1$ ,  $u_c$  and  $t_2$  for single-phase testing are given in Table 32.

For three-phase testing the same principle is used to define the initial part of the recovery voltage for the first-pole-to-clear.

**Table 32 – Specified values of  $u_1$ ,  $t_1$ ,  $u_c$  and  $t_2$**

| Test-duties                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Recovery voltage values of Figure 54<br>in relation to the peak value of the test<br>voltage |                     | Time values of Figure 54                               |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------|------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $u_c$<br>p.u.                                                                                | $u_1$<br>p.u.       | $t_1$                                                  | $t_2$            |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\geq 1,98$                                                                                  | $\leq 0,02k_{af}^*$ | $\geq t_1$ or $t_3$ in 6.104.5.1<br>for terminal fault | 8,7 ms for 50 Hz |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\geq 1,95$                                                                                  | $\leq 0,05k_{af}^*$ |                                                        | 7,3 ms for 60 Hz |
| NOTE For tests with specified recovery voltage the prospective recovery voltage is calculated based on the test voltage of the corresponding single-phase direct test.                                                                                                                                                                                                             |                                                                                              |                     |                                                        |                  |
| * $k_{af}$ = amplitude factor = 1,4 (see Tables 24, 26 and 27) for class S1 circuit-breakers and for circuit-breakers with rated voltage of 100 kV up to and including 800 kV.<br>$k_{af}$ = amplitude factor = 1,5 (see Table 26) for circuit-breakers with rated voltage higher than 800 kV.<br>$k_{af}$ = amplitude factor = 1,54 (see Table 25) for class S2 circuit-breakers. |                                                                                              |                     |                                                        |                  |

## 6.111.11 Criteria to pass the test

### 6.111.11.1 General

The circuit-breakers of the individual classes shall have successfully passed the tests if the following conditions are fulfilled:

- the behaviour of the circuit-breaker during making and breaking of the capacitive currents in all prescribed test-duties fulfils the conditions given in 6.102.8;
- the condition of the circuit-breaker after the test series corresponds to the conditions given in 6.102.9.4. If no restrike occurred during test-duties 1 (LC1 or CC1 or BC1) and 2 (LC2 or CC2 or BC2), visual inspection is sufficient.

Where combined testing in accordance with 6.111.9.1 is carried out, the criteria to pass the test apply to each combination of test-duties 1 and 2 relevant to cover the rating the tests have been carried out for.

### 6.111.11.2 Class C1 performance

The circuit-breaker has successfully passed the tests if up to one restrike occurred during the complete test-duties 1 (LC1 or CC1 or BC1) and 2 (LC2 or CC2 or BC2).

If two restrikes occurred during the complete test-duties 1 and 2 for LC, CC or BC, then both test-duties shall be repeated on the same apparatus without any maintenance. If no more than one additional restrike happens during this extended series of tests, the circuit-breaker has successfully passed the tests. External flashover and phase-to-ground flashover shall not take place.

In the case of combined testing according to 6.111.9.1, the circuit-breaker shall have passed the test for those ratings for which both, a test-duty 2 and a matching test-duty 1 were carried out with less than two restrikes in total. Where due to restrikes test-duties have to be repeated, the affected set of matching test-duties (test-duty 1 and test-duty 2) shall be

repeated. If in more than one test-duty 1 restrikes occurred, each of them shall be repeated together with one single test-duty 2. If restrikes occurred only in test-duty 2, this one and any one of the test-duties 1 shall be repeated.

### 6.111.11.3 Class C2 performance

The circuit-breaker has successfully passed the tests if no restrike occurred during the complete test-duties 1 and 2 for LC, CC or BC.

If one restrike occurred during the complete test-duties 1 (LC1 or CC1 or BC1) and 2 (LC2 or CC2 or BC2), then both test-duties shall be repeated on the same apparatus without any maintenance. If no additional restrike occurs during this extended series of tests, the circuit-breaker has successfully passed the tests. External flashover and phase-to-ground flashover shall not take place.

In the case of combined testing according to 6.111.9.1, the circuit-breaker has passed the test for those applications or ratings for which both a test-duty 2 and a matching test-duty 1 were carried out without restrike. Where due to restrikes test-duties have to be repeated, the affected set of matching test-duties (test-duty 1 and test-duty 2) shall be repeated. If in more than one test-duty 1 one restrike occurred, each of them shall be repeated together with one single test-duty 2. If one restrike occurred in test-duty 2, this one and any one of the test-duties 1 shall be repeated.

### 6.111.11.4 Criteria for reclassification from class C2 performance to class C1

A circuit-breaker which has met the requirements for class C2 performance for a particular switching duty (LC, CC, BC) can be class C1 for the same duty without further testing.

A circuit-breaker tested in accordance with the class C2 test procedure but which has failed to pass class C2 performance can be qualified for class C1 performance if the requirements of 6.111.11.1 are fulfilled and if the following condition is met:

#### a) Line- or cable-charging current switching tests

The total number of restrikes during line-charging current switching tests (LC1 and LC2) or cable-charging current switching tests (CC1 and CC2) does not exceed two in the first series of test operations i.e. 96 in case of single-phase tests and 48 in case of three-phase tests, see 6.111.9.4.2 or 6.111.9.4.3 respectively. In the event of a single restrike during the first series of test operations a repetition series may be carried out in accordance with 6.111.11.3. The behaviour of the circuit-breaker during the repetition series is not relevant for the purpose of reclassification. If during this repetition series a restrike occurs no further testing is required.

#### b) Capacitor bank current switching tests

The total number of restrikes during capacitor bank current switching tests (BC1 and BC2) does not exceed five in the first series of operations, i.e. 168 in case of single-phase tests and 104 in case of three-phase tests, see 6.111.9.4.4 or 6.111.9.4.5 respectively. In the event of a single restrike during the first series of test operations a repetition series may be carried out in accordance with 6.111.11.3. The behaviour of the circuit-breaker during the repetition series is not relevant for the purpose of reclassification. If during this repetition series a restrike occurs no further testing is required.

The reclassification procedure is shown in Figures 55 and 56.

### 6.112.1 Class E2 circuit-breakers intended for use without auto-reclosing duty

*Add, at the end of the last sentence of the first paragraph, the following wording:*

.... independent of the rated operating sequence

## 7.1 Dielectric test on the main circuit

*Add, at the end of the subclause, after the existing Table 34, the following text:*

For circuit-breakers using compressed gas for insulation the gas pressure during the dielectric test on the main circuit shall be set at the minimum functional pressure for interruption and insulation. For sealed pressure systems, the gas pressure shall be the rated filling pressure for interruption and insulation.

In case of circuit-breakers using a gas mixture such as SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> or SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub>, the test can be performed using the declared gas mixture at the minimum functional pressure for interruption and insulation or pure SF<sub>6</sub> at a total absolute pressure not exceeding the equivalent gas pressure ( $P_{\text{test}}$ ) as calculated by the following equations (see Figure 4.1 of CIGRE TB 163 [13]):

- for circuit-breakers using a SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> mixture:  $P_{\text{test}} = P_{\text{SF6}} + 0,7 \times P_{\text{add N}_2}$ . The equation is valid for mixtures having at least 30 % of SF<sub>6</sub> gas volume; (see Note);
- for circuit-breakers using a SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> mixture:  $P_{\text{test}} = P_{\text{SF6}} + 0,45 \times P_{\text{add CF}_4}$ .

where

$P_{\text{test}}$  is the total absolute SF<sub>6</sub> pressure at  $T = 20\text{ °C}$  during routine dielectric test on the main circuit;

$P_{\text{SF6}}$  is the partial pressure of SF<sub>6</sub> at  $T = 20\text{ °C}$  at the minimum functional pressure for interruption and insulation according to the declared gas mixture;

$P_{\text{add}}$  is the partial pressure of CF<sub>4</sub> or N<sub>2</sub> at  $T = 20\text{ °C}$  at the minimum functional pressure for interruption and insulation according to the declared gas mixture.

NOTE See CIGRE TB 163 [13] for mixtures having less than 30 % SF<sub>6</sub>.

*Add, after 7.1, the following new subclause.*

### 7.1.101 Partial discharge measurement

For dead-tank circuit-breakers with rated voltage higher than 52 kV using solid insulating material to earth, a measurement of partial discharges shall be performed to detect possible material and manufacturing defects within these solid insulating parts.

The measurement of partial discharges should be preferably performed on the complete circuit-breaker. In this case, the measurement of partial discharges shall be performed during the dielectric test (7.1) and preferably after mechanical operating routine tests (7.101).

If a test on the complete circuit-breaker is impractical, it is allowed to replace the test on the complete circuit-breaker by partial discharge measurements on individual components, before assembly, such as bushings, insulators, partitions, insulated operating rods, etc. For partial discharge tests on bushings, subclause 9.4 of IEC 60137:2008 is applicable.

NOTE Partial discharge test on bushings is required for all types of bushings with the exception of gas-insulated bushings and ceramic, glass or analogous inorganic material bushings as defined respectively in 3.6 and 3.11 of IEC 60137:2008.

The measurement shall be made in accordance with IEC 60270.

The applied power-frequency voltage shall be raised to a pre-stress value which is identical to the power-frequency withstand voltage test and maintained at that value for 1 min. Partial discharges occurring during this period shall be disregarded. Then, the voltage shall be decreased to the value defined in Table 50.

The extinction voltage shall be recorded during the reduction of the applied test voltage specified in Table 50.

**Table 50 – Test voltage for partial discharge test**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Circuit-breaker rated for $k_{pp} = 1,2$ or 1,3 |                                                                           | Circuit-breaker rated for $k_{pp} = 1,5$  |                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Pre-stress voltage<br>$U_{ps}$<br>(1 min)       | Test voltage for PD measurement<br>$U_{pd}$<br>(> 1 min)                  | Pre-stress voltage<br>$U_{ps}$<br>(1 min) | Test voltage for PD measurement<br>$U_{pd}$<br>(> 1 min) |
| Single-phase enclosure designs<br>(phase-to-earth voltage)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $U_d$                                           | $1,2 \times U_r / \sqrt{3}$                                               | $U_d$                                     | $1,2 \times U_r$                                         |
| Three-phase enclosure designs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $U_d$                                           | $U_{pd, pe} = 1,2 \times U_r / \sqrt{3}$<br>$U_{pd, pp} = 1,2 \times U_r$ | $U_d$                                     | $U_{pd, pe} = 1,2 \times U_r$                            |
| $U_r$ voltage for equipment.<br>$U_d$ power-frequency withstand test voltage as per Tables 1a, 1b, 2a or 2b of IEC 62271-1:2007 for dead-tank circuit-breakers.<br>$U_{ps}$ pre-stress voltage.<br>$U_{pd}$ test voltage for PD measurement.<br>$U_{pd, pe}$ test voltage for PD measurement, phase-to-earth.<br>$U_{pd, pp}$ test voltage for PD measurement, phase-to-phase. |                                                 |                                                                           |                                           |                                                          |

The maximum permissible partial discharge level shall not exceed 10 pC for dead-tank circuit-breakers at the test voltage specified in Table 50.

#### 7.101 Mechanical operating tests

Replace, in the paragraph starting with "Proof shall be given ...", "specimen" by "object".

#### 8.101 General

Replace the reference of "Characteristics for short-line faults" from "4.105" to "6.109".

#### 8.103.2 Selection of transient recovery voltage (TRV) for terminal faults, first-pole-to-clear factor and characteristics for short-line faults

Replace, in the first paragraph, "4.102.2" by "6.104.6".

Replace the first sentence of the second paragraph under item c) by the following:

Short-line fault tests apply only to circuit-breakers having a rated voltage of 15 kV and above a rated short-circuit breaking current exceeding 12,5 kA for direct connection to overhead lines (see 4.105).

#### 9.101 Information to be given with enquiries and orders

Replace, under c) line 10), the reference from "4.109" to "5.105".

#### 9.102 Information to be given with tenders

Delete, under a) line 10, the words "rated" (3 times), and replace the reference from "4.109" to "5.105".

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

*Add, at the end of the subclause, the following note:*

NOTE Dynamic resistance measurements (DRM) could be carried out as an additional tool for the assessment of the condition of the circuit-breaker during life time for some designs.

### **Figure 1 – Typical oscillogram of a three-phase short-circuit make-break cycle**

*Replace the existing figure by the following, without modifying the key to Figure 1:*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-100:2008/AMD2:2017

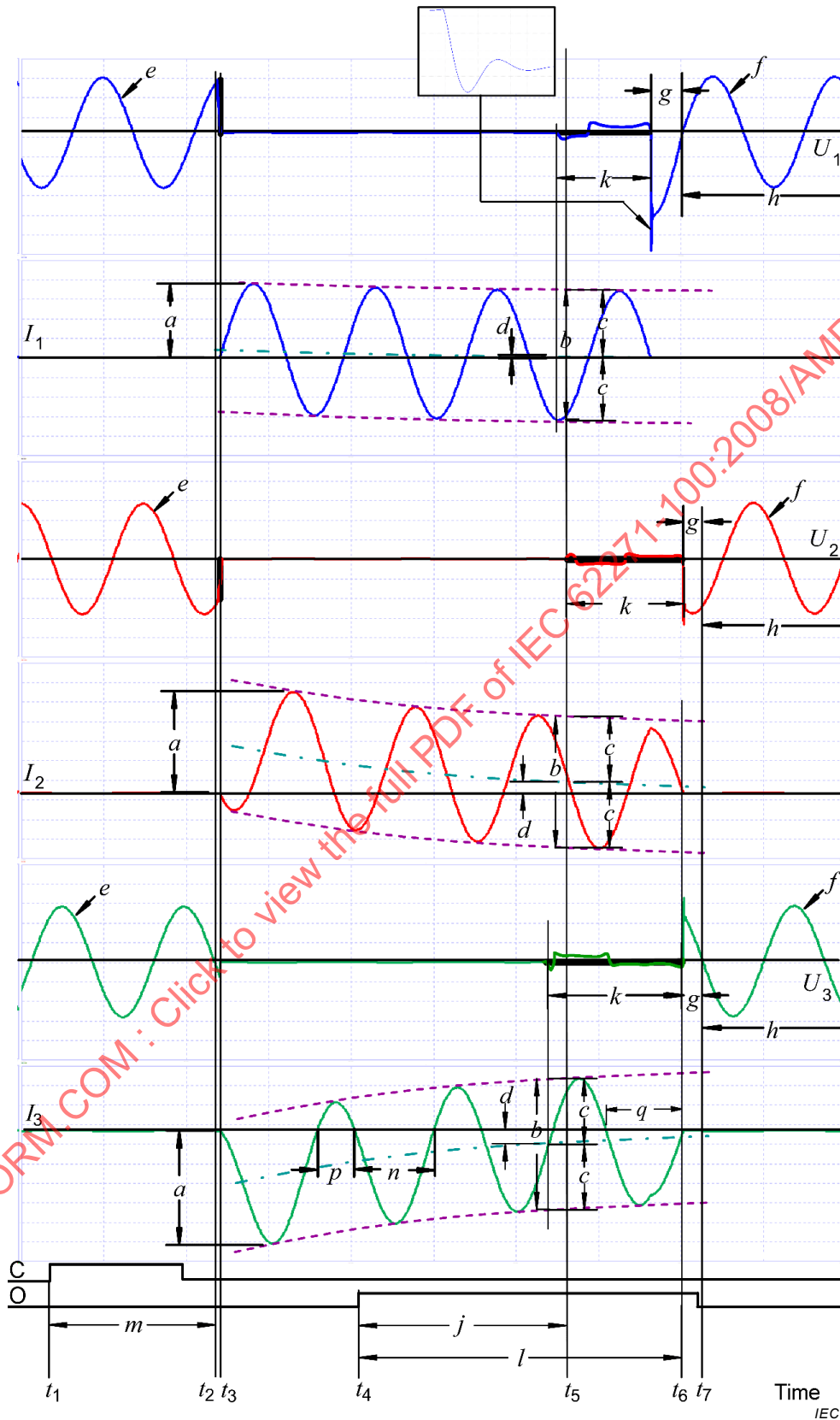


Figure 1 – Typical oscillogram of a three-phase short-circuit make-break cycle

Replace, in the legend to Figure 1, the lines for  $t_2$ ,  $t_4$  and  $b$  by the following:

- $t_2$  instant of the voltage breakdown
- $t_4$  instant of the initiation of the opening operation
- $b$  peak-to-peak value of the breaking current

Add the following to the key to Figure 1:

- $q$  major extended loop

Replace the existing Figures 2 to 7 by the following:

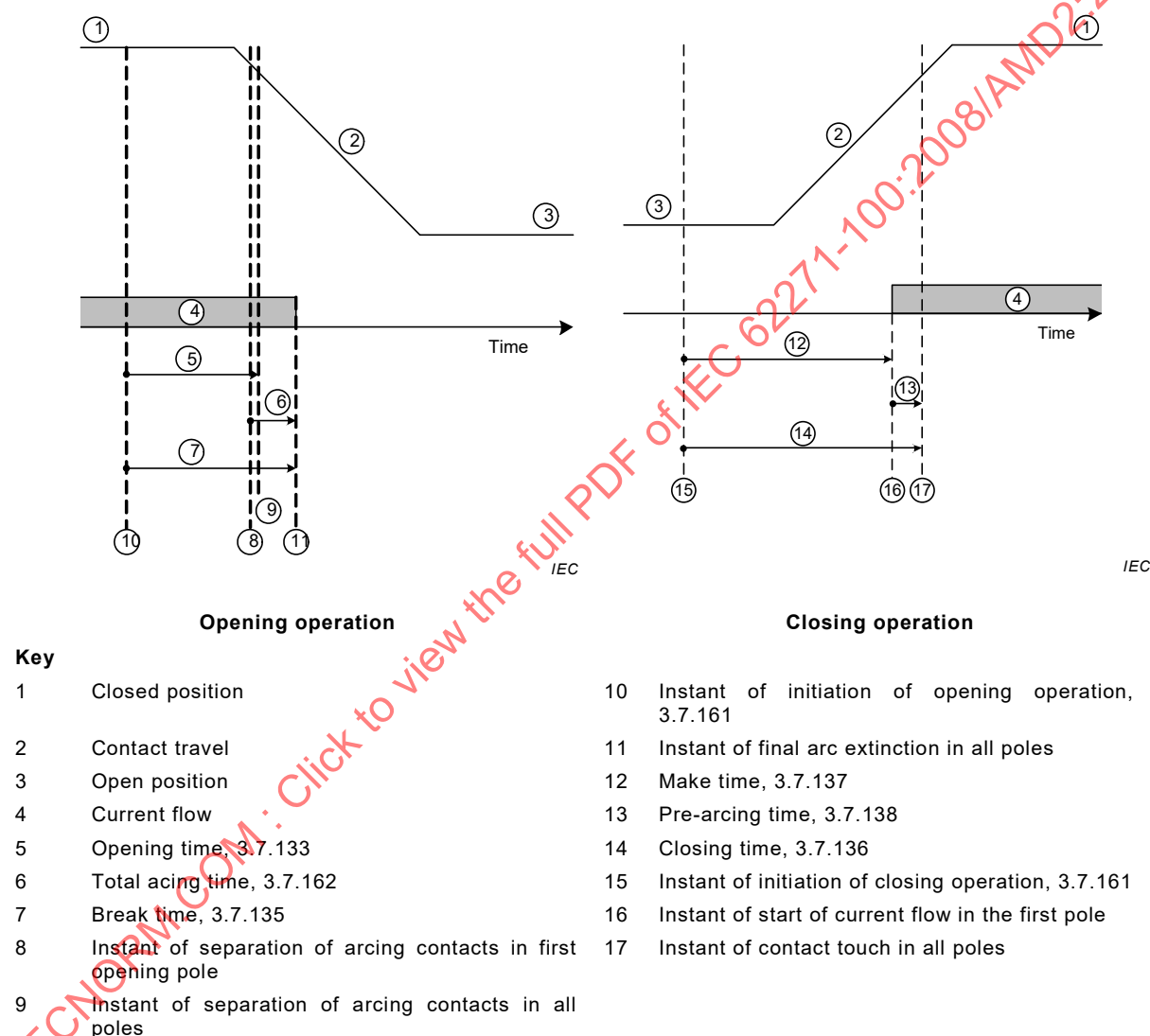
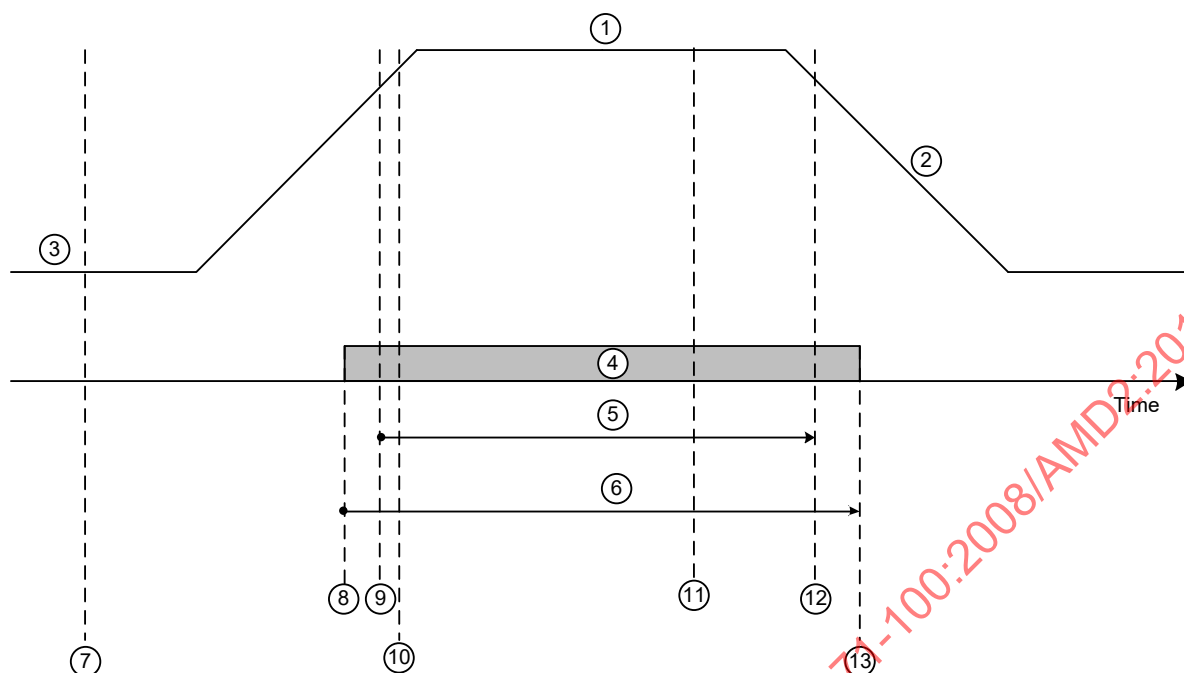


**Figure 2 – Circuit-breaker without switching resistors – Opening and closing operation**

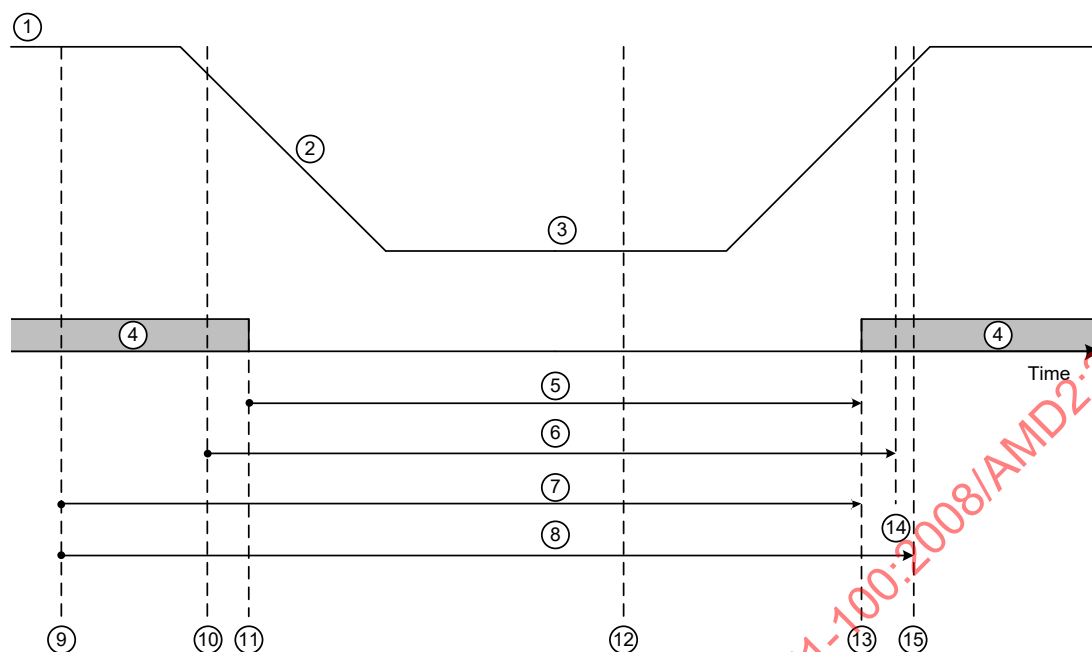


IEC

**Key**

- |   |                                                     |    |                                                       |
|---|-----------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------|
| 1 | Closed position                                     | 8  | Instant of start of current flow in the first pole    |
| 2 | Contact travel                                      | 9  | Instant of contact touch in the first closing pole    |
| 3 | Open position                                       | 10 | Instant of contact touch in all poles                 |
| 4 | Current flow                                        | 11 | Instant of initiation of opening operation, 3.7.161   |
| 5 | Close-open time, 3.7.143                            | 12 | Instant of separation of arcing contacts in all poles |
| 6 | Make-break time, 3.7.144                            | 13 | Instant of arc extinction in all poles                |
| 7 | Instant of initiation of closing operation, 3.7.161 |    |                                                       |

**Figure 3 – Circuit-breaker without switching resistors – Close-open cycle**

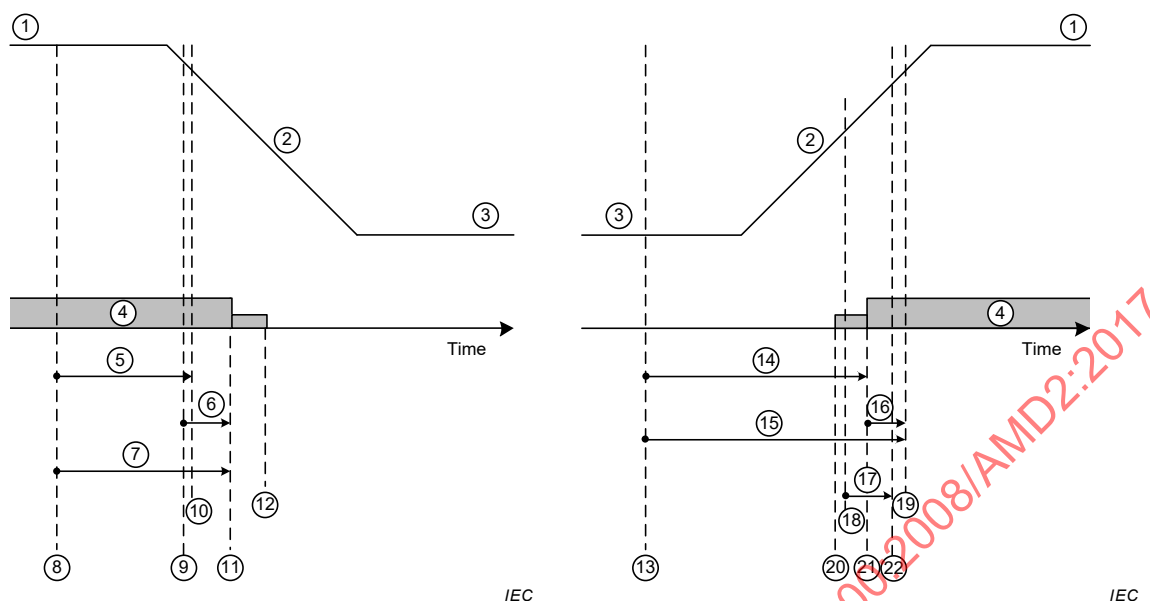


IEC

**Key**

- |   |                          |    |                                                            |
|---|--------------------------|----|------------------------------------------------------------|
| 1 | Closed position          | 9  | Instant of initiation of opening operation, 3.7.161        |
| 2 | Contact travel           | 10 | Instant of separation of arcing contacts in all poles      |
| 3 | Open position            | 11 | Instant of final arc extinction in all poles               |
| 4 | Current flow             | 12 | Instant of initiation of closing operation, 3.7.161        |
| 5 | Dead time, 3.7.140       | 13 | Instant of start of current flow in the first closing pole |
| 6 | Open-close time, 3.7.139 | 14 | Instant of contact touch in first pole                     |
| 7 | Re-make time, 3.7.142    | 15 | Instant of contact touch in all poles                      |
| 8 | Reclosing time, 3.7.141  |    |                                                            |

**Figure 4 – Circuit-breaker without switching resistors – Reclosing (auto-reclosing)**



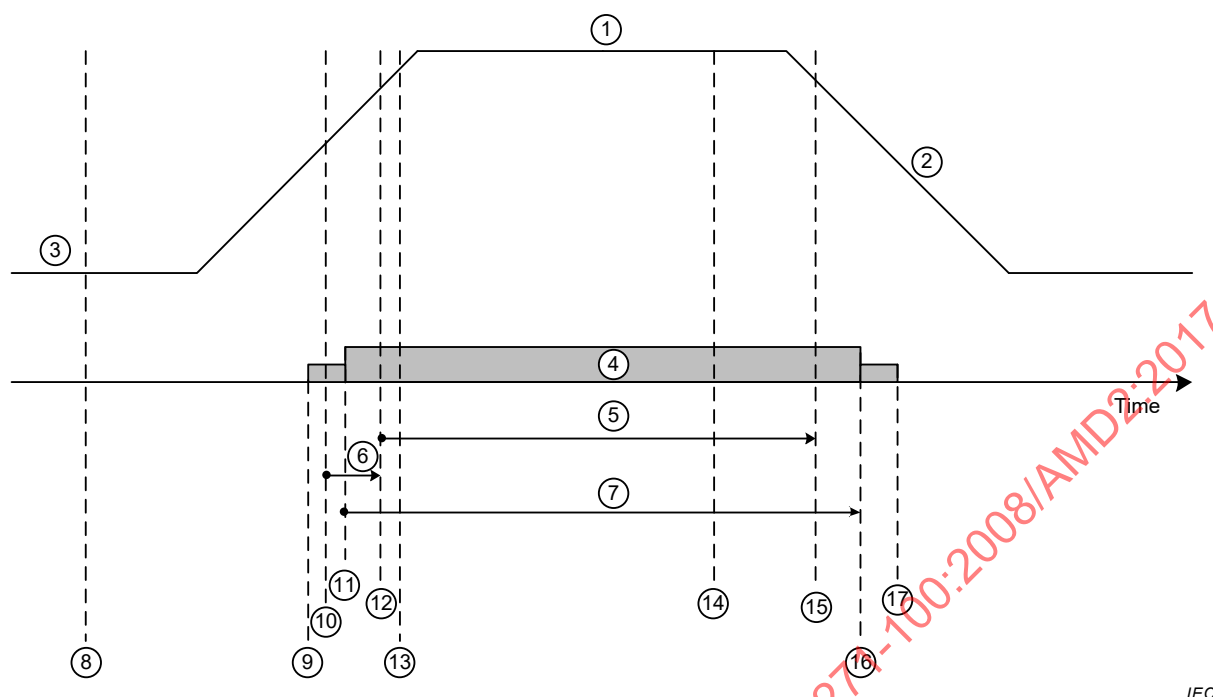
Opening operation

Closing operation

**Key**

|    |                                                                |    |                                                                                                  |
|----|----------------------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Closed position                                                | 12 | Instant of arc extinction in all poles – Resistor current                                        |
| 2  | Contact travel                                                 | 13 | Instant of initiation of the closing operation, 3.7.161                                          |
| 3  | Open position                                                  | 14 | Make time, 3.7.137                                                                               |
| 4  | Current flow                                                   | 15 | Closing time, 3.7.136                                                                            |
| 5  | Opening time, 3.7.133                                          | 16 | Pre-arcing time, 3.7.138                                                                         |
| 6  | Total arcing time, 3.7.162                                     | 17 | Pre-insertion time, 3.7.145                                                                      |
| 7  | Break time, 3.7.135                                            | 18 | Instant of contact touch in the closing resistor of any one pole                                 |
| 8  | Instant of initiation of opening operation, 3.7.161            | 19 | Instant of contact touch in all poles                                                            |
| 9  | Instant of separation of arcing contacts in first opening pole | 20 | Instant of start of current flow in the first pole – Resistor current                            |
| 10 | Instant of separation of arcing contacts in all poles          | 21 | Instant of the start of current flow in the first pole – Full current                            |
| 11 | Instant of arc extinction in all poles – Full current          | 22 | Instant of contact touch in the main breaking unit of the same pole as regarded for the resistor |

**Figure 5 – Circuit-breaker with switching resistors – Opening and closing operations**

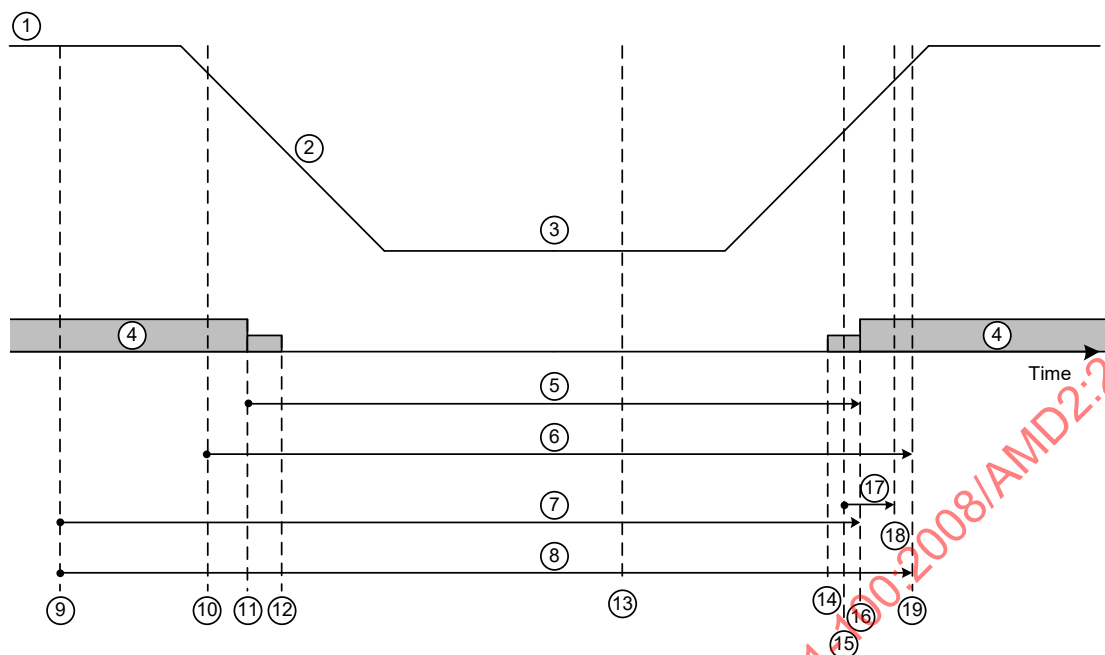


IEC

**Key**

- |   |                                                                       |    |                                                                                                  |
|---|-----------------------------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Closed position                                                       | 10 | Instant of contact touch in the closing resistor of any one pole                                 |
| 2 | Contact travel                                                        | 11 | Instant of start of current flow in the first pole – Full current                                |
| 3 | Open position                                                         | 12 | Instant of contact touch in the main breaking unit of the same pole as regarded for the resistor |
| 4 | Current flow                                                          | 13 | Instant of contact touch in all poles                                                            |
| 5 | Close-open time, 3.7.143                                              | 14 | Instant of initiation of opening operation, 3.7.161                                              |
| 6 | Pre-insertion time, 3.7.145                                           | 15 | Instant of separation of arcing contacts in all poles                                            |
| 7 | Make-break time, 3.7.144                                              | 16 | Instant of arc extinction in all poles – Full current                                            |
| 8 | Instant of initiation of closing operation, 3.7.161                   | 17 | Instant of arc extinction in all poles – Resistor current                                        |
| 9 | Instant of start of current flow in the first pole – Resistor current |    |                                                                                                  |

**Figure 6 – Circuit-breaker with switching resistors – Close-open cycle**



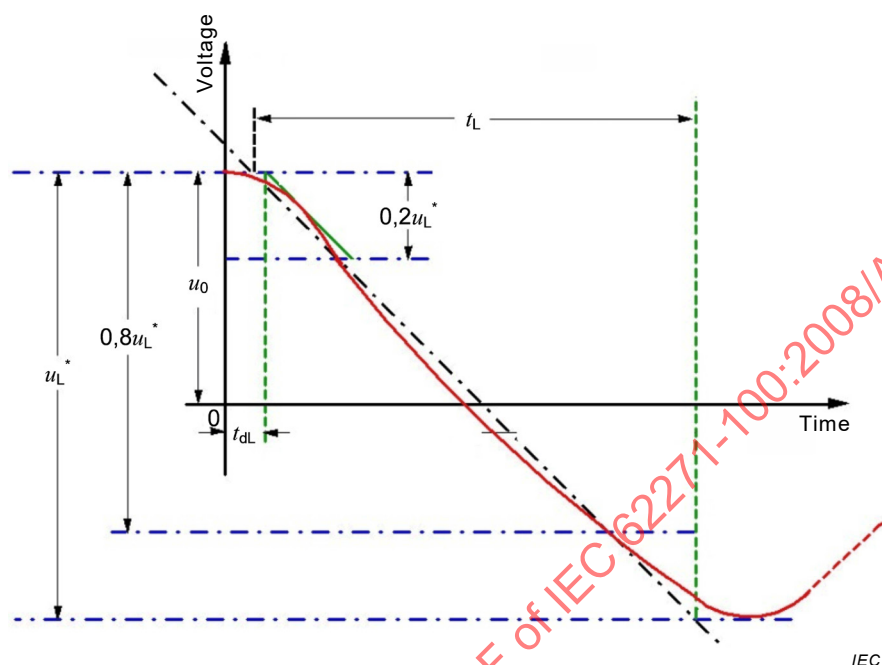
#### Key

- |    |                                                       |    |                                                                                                  |
|----|-------------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Closed position                                       | 11 | Instant of arc extinction in all poles – Full current                                            |
| 2  | Contact travel                                        | 12 | Instant of arc extinction in all poles – Resistor current                                        |
| 3  | Open position                                         | 13 | Instant of initiation of closing operation, 3.7.161                                              |
| 4  | Current flow                                          | 14 | Resistor current                                                                                 |
| 5  | Dead time, 3.7.140                                    | 15 | Instant of contact touch in the closing resistor of any one pole                                 |
| 6  | Open-close time, 3.7.139                              | 16 | Instant of start of current flow in the first pole – Full current                                |
| 7  | Re-make time, 3.7.142                                 | 17 | Pre-insertion time, 3.7.145                                                                      |
| 8  | Reclosing time, 3.7.141                               | 18 | Instant of contact touch in the main breaking unit of the same pole as regarded for the resistor |
| 9  | Instant of initiation of opening operation, 3.7.161   | 19 | Instant of contact touch in all poles                                                            |
| 10 | Instant of separation of arcing contacts in all poles |    |                                                                                                  |

**Figure 7 – Circuit-breaker with switching resistors – Reclosing (auto-reclosing)**

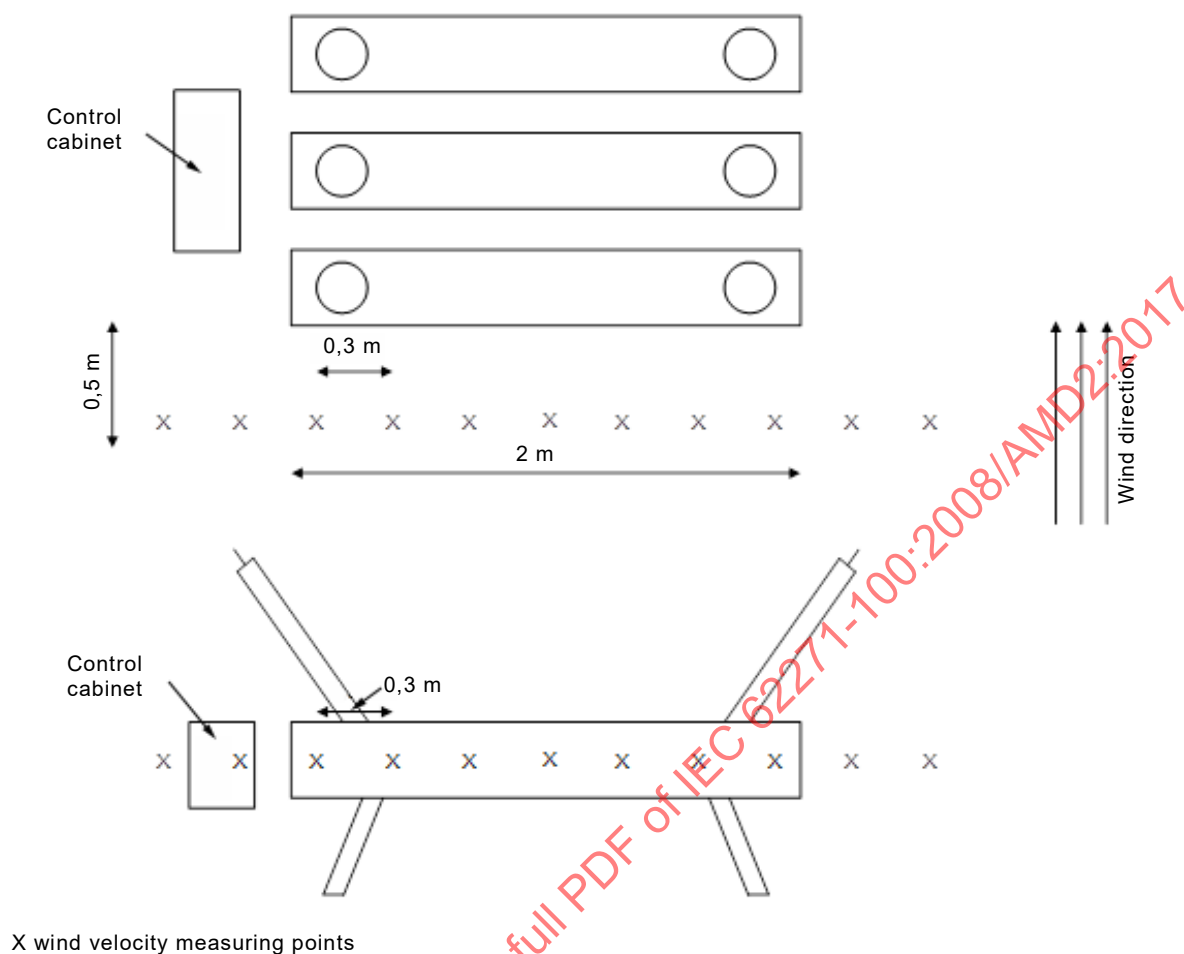
**Figure 16b – Example of line transient voltage with time delay with non-linear rate of rise**

Replace Figure 16b, modified by Amendment 1, by the following new figure, without modifying its title:



Delete Figure 19, modified by Amendment 1, as well as Figures 20, 21 and 22.

Add, after the existing Figure 18, the following new figure:



IEC

**Figure 59 – Example of wind velocity measurement**

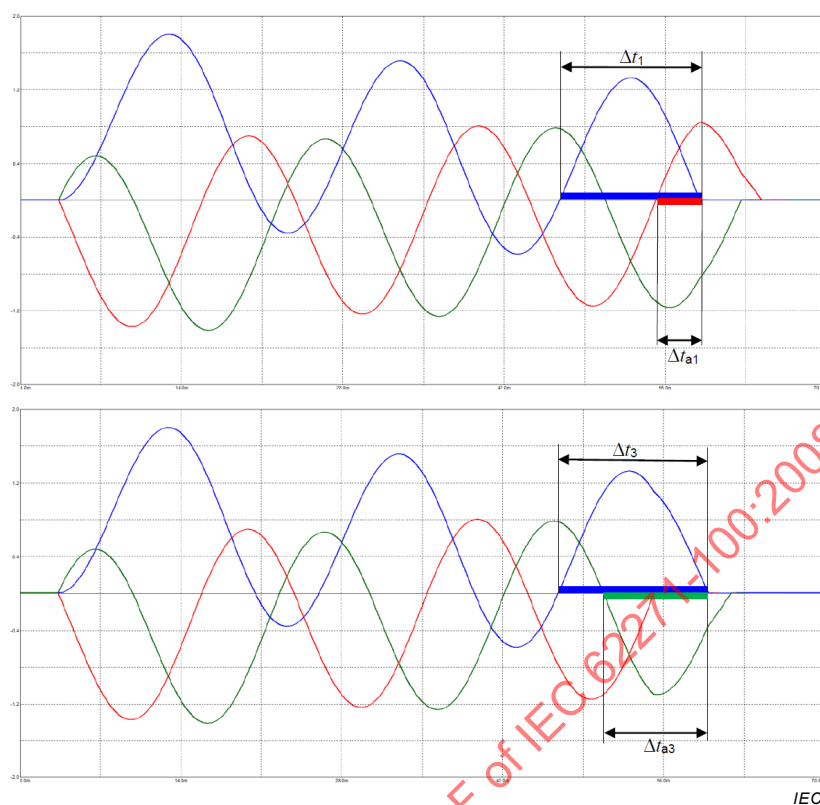
**Figure 27b – Alternative circuit not applicable for circuit-breakers where the insulation between phases and/or to earth is critical (e.g. GIS or dead tank circuit-breakers)**

*Replace the title of this subfigure by "Alternative circuit".*

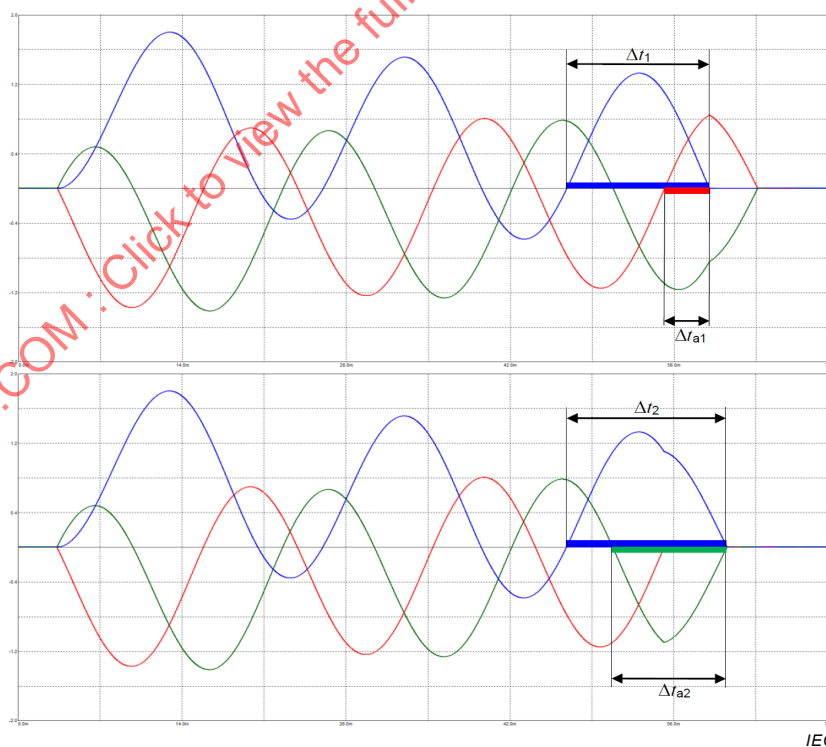
**Figure 28b – Alternative circuit, not applicable for circuit-breakers where the insulation between phases and/or to earth is critical (e.g. GIS or dead tank circuit-breakers)**

*Replace the title of this subfigure by "Alternative circuit".*

Add, after the existing Figure 28, the following new figure:



a) Time parameters for  $k_{pp} = 1,2$  or  $1,3$



b) Time parameters for  $k_{pp} = 1,5$

Figure 60 – Graphical representation of the time parameters for the demonstration of arcing times in three-phase tests of test-duty T100a

Replace existing Figures 29 to 39, some of them were modified by Amendment 1, by the following:

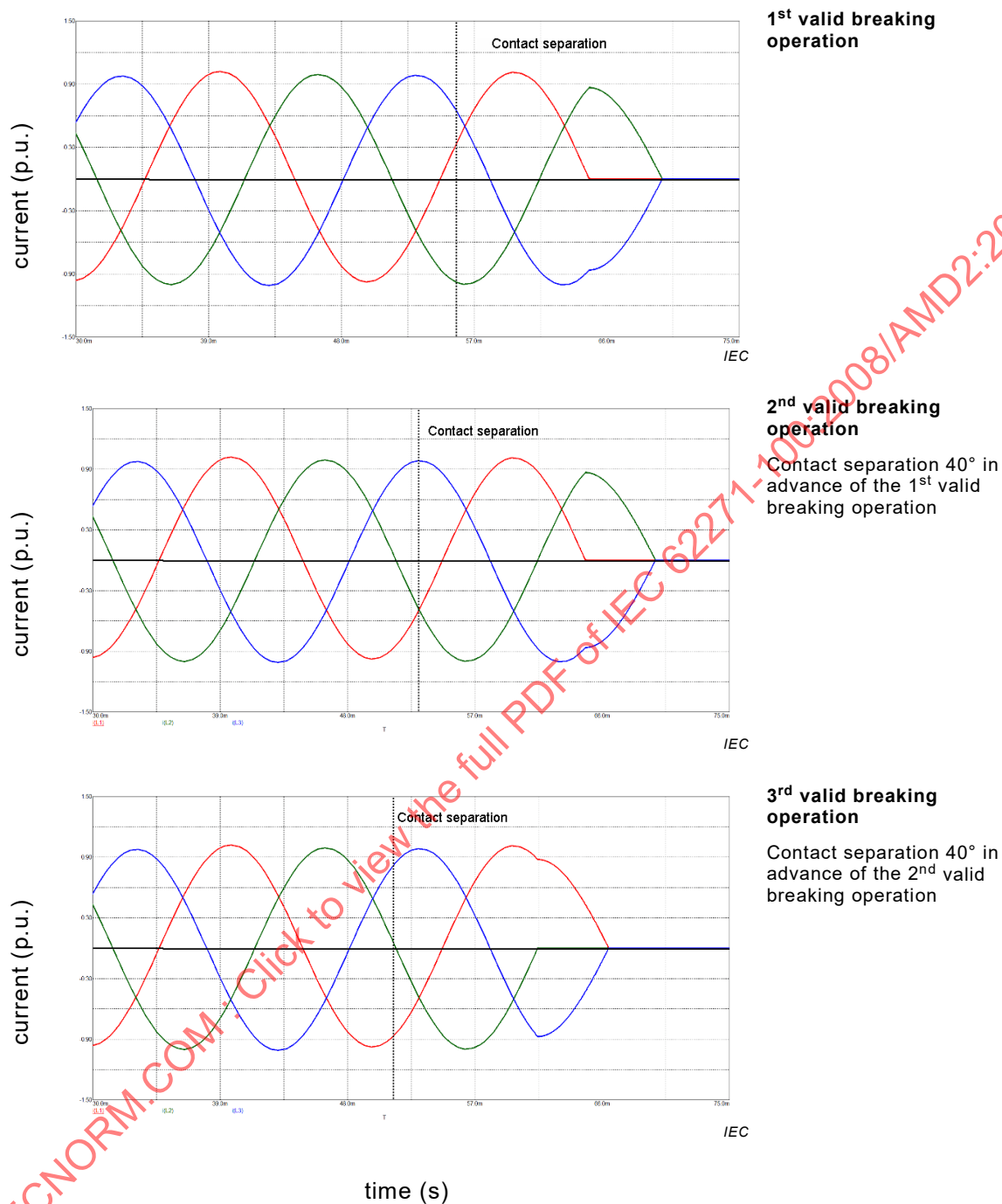
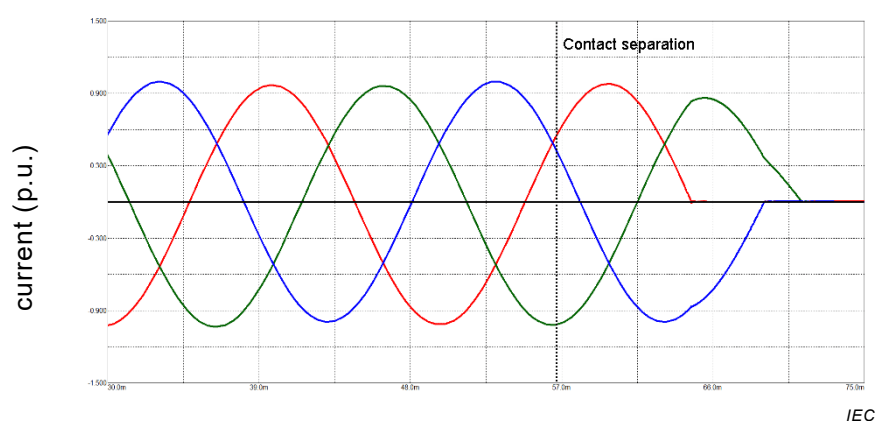
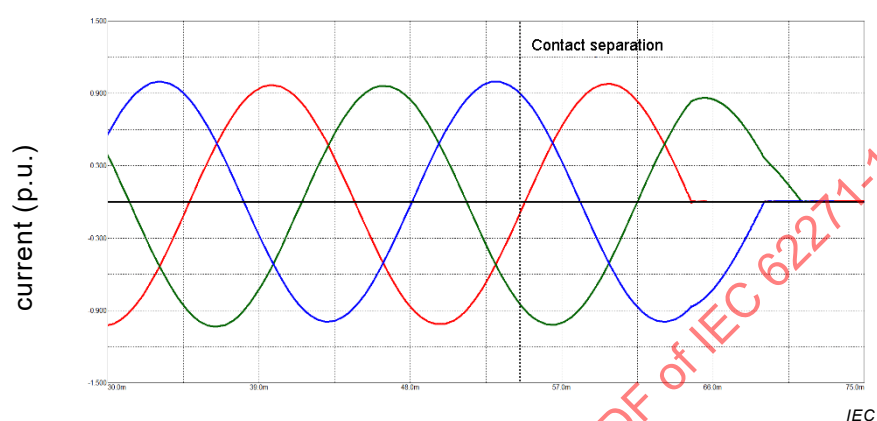


**Figure 29 – Graphical representation of an example of the three valid symmetrical breaking operations for  $k_{pp} = 1,5$**

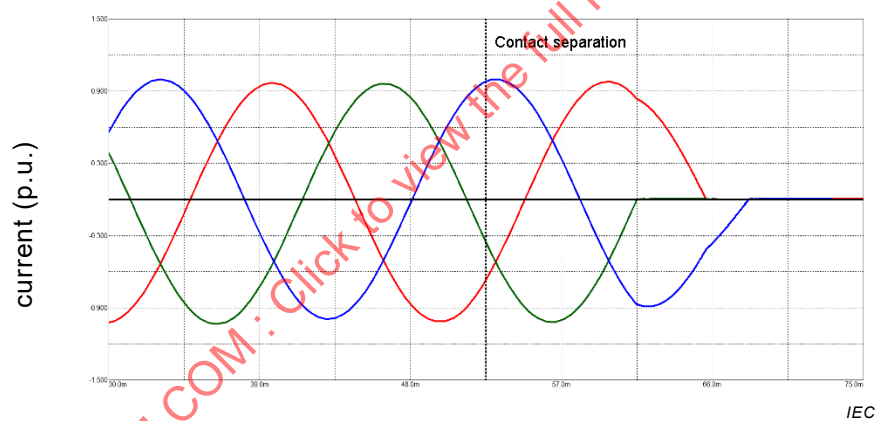


**1<sup>st</sup> valid breaking operation**



**2<sup>nd</sup> valid breaking operation**

Contact separation 40° in advance of the 1<sup>st</sup> valid breaking operation

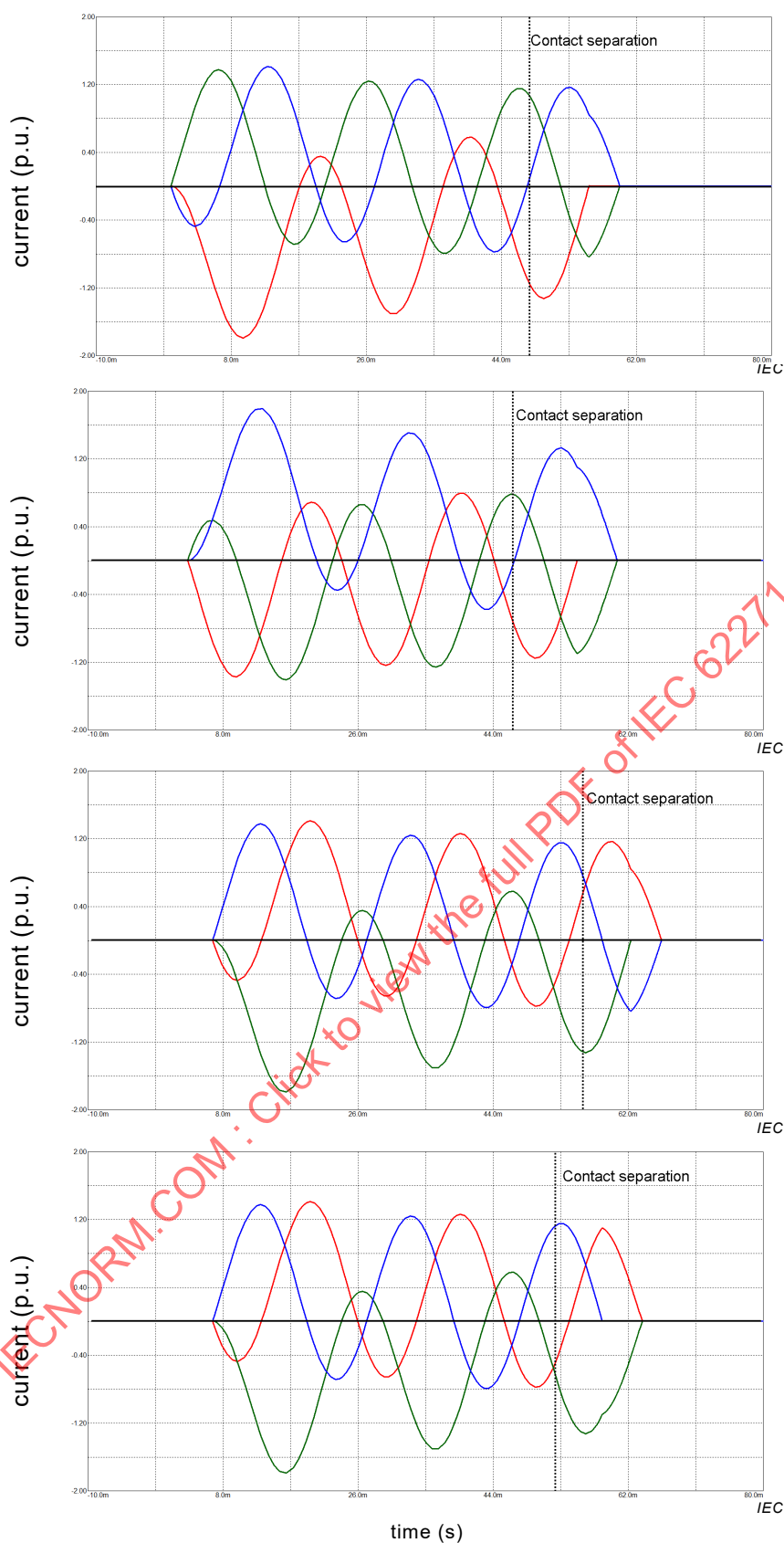


**3<sup>rd</sup> valid breaking operation**

Contact separation 40° in advance of the 2<sup>nd</sup> valid breaking operation

time (s)

**Figure 30 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for  $k_{pp} = 1, 2$  or  $1, 3$**



**1<sup>st</sup> valid breaking operation**

First-pole-to-clear on a major loop with the required maximum arcing time  
(assumption  $t_{a100s} = 5$  ms)

**2<sup>nd</sup> valid breaking operation**

Current initiation delayed 60° from that of the first breaking operation  
Last-pole-to-clear on an extended major loop with the required maximum arcing time

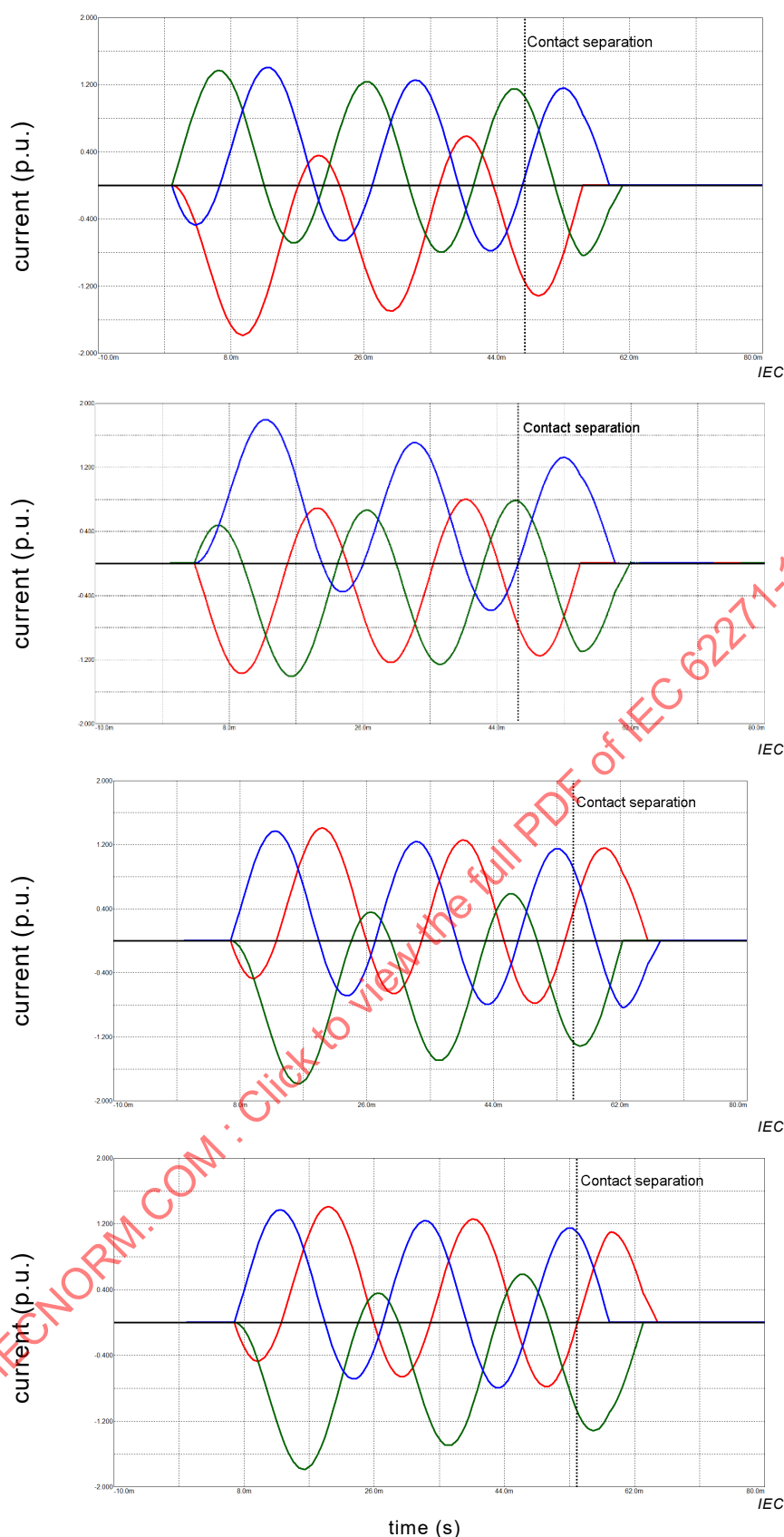
**3<sup>rd</sup> valid breaking operation, option 1**

Current initiation delayed 60° from that of the second breaking operation  
First-pole-to-clear on a major loop, no requirement regarding arcing time

**3<sup>rd</sup> valid breaking operation, option 2**

Current initiation delayed 60° from that of the second breaking operation  
Last-pole-to-clear on an extended major loop, no requirement regarding arcing time

**Figure 31 – Graphical representation of an example of the three valid asymmetrical breaking operations for  $k_{pp} = 1,5$**



### 1<sup>st</sup> valid breaking operation

first-pole-to-clear on a major loop with the required maximum arcing time  
(assumption  $t_{a100s} = 5$  ms)

### 2<sup>nd</sup> valid breaking operation

Current initiation delayed 60° from that of the first breaking operation  
Second-pole-to-clear on an extended major loop with the required maximum arcing time

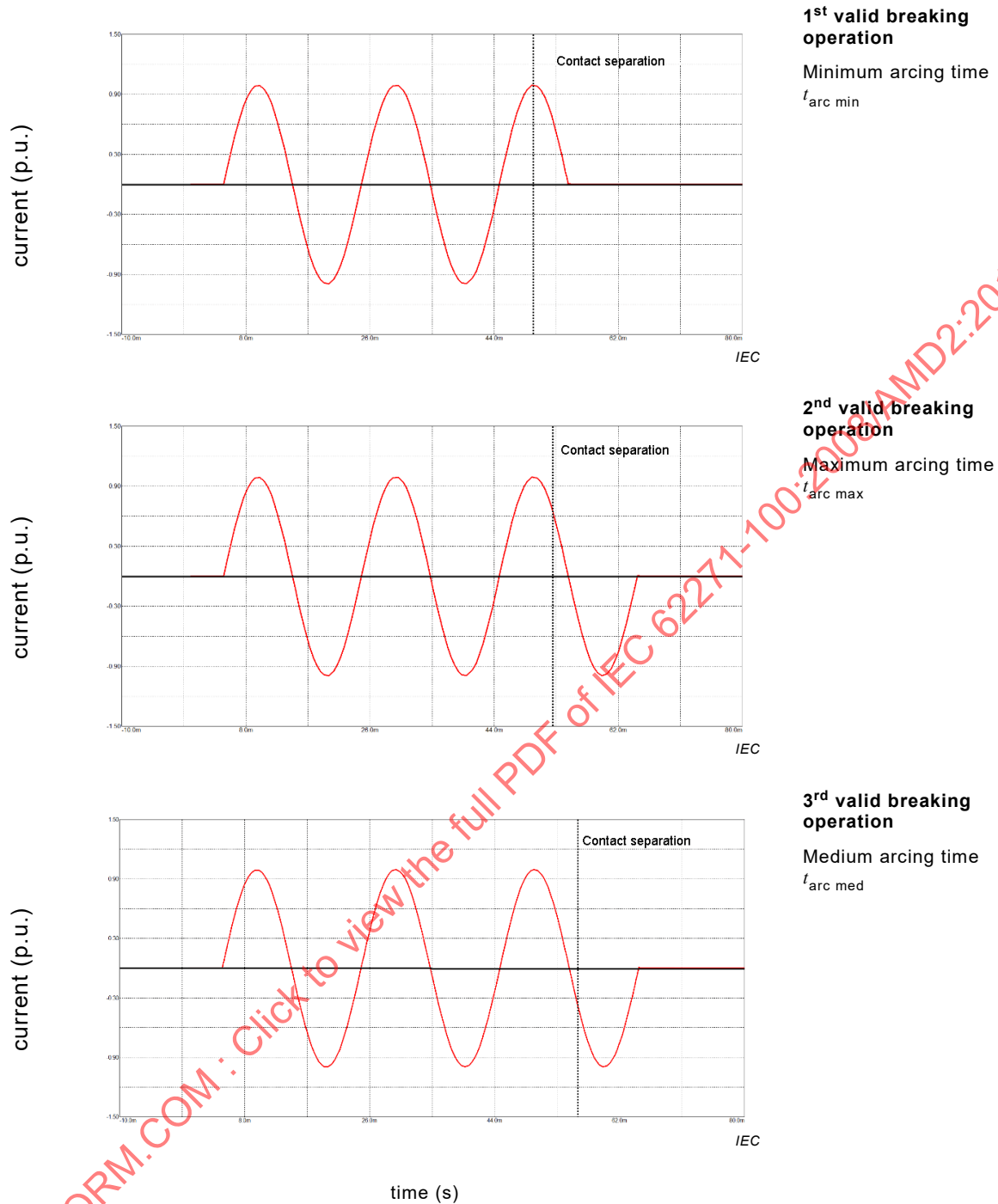
### 3<sup>rd</sup> valid breaking operation, option 1

Current initiation delayed 60° from that of the second breaking operation  
First-pole-to-clear on a major loop, no requirement regarding arcing time

### 3<sup>rd</sup> valid breaking operation, option 2

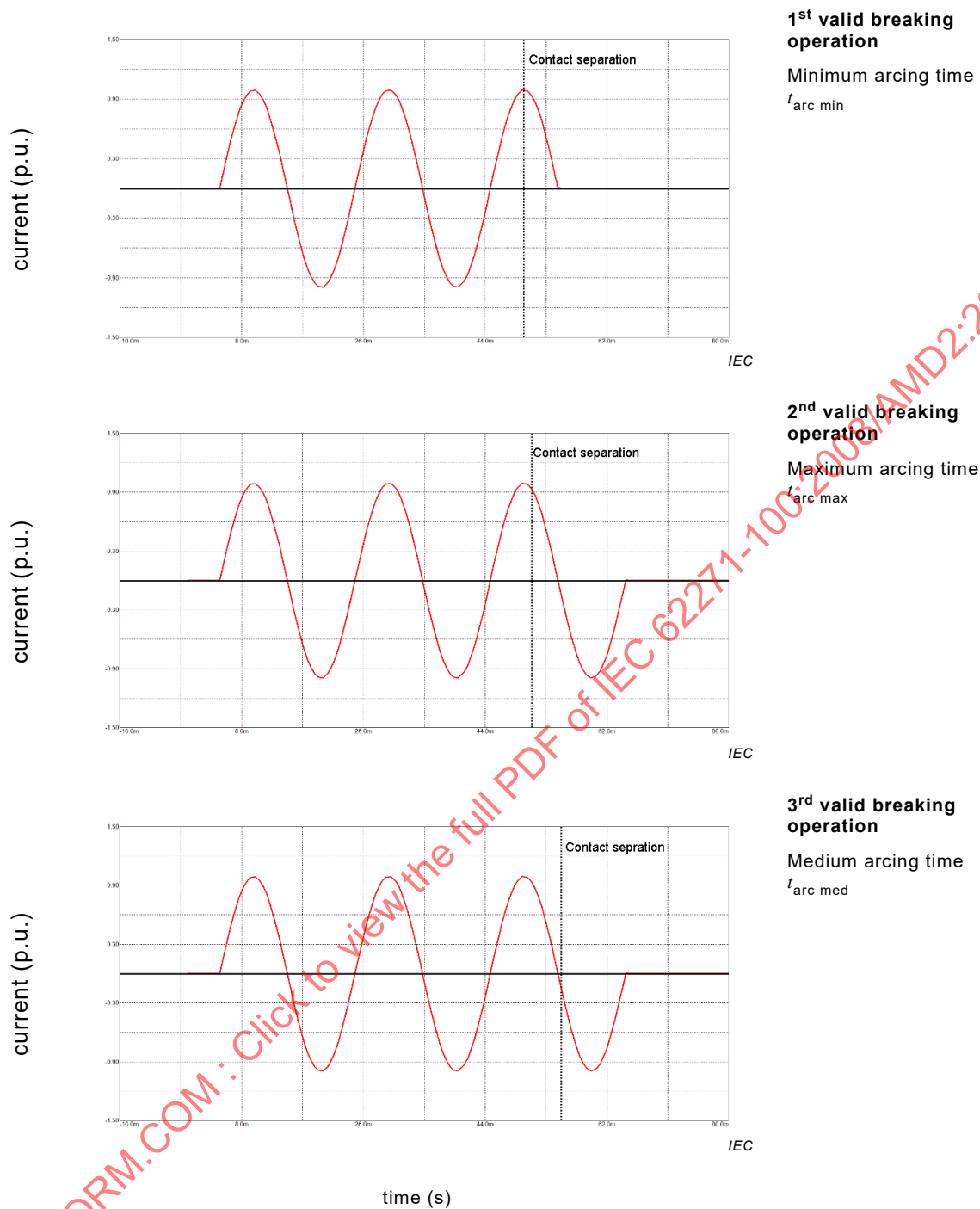
Current initiation delayed 60° from that of the second breaking operation  
Second-pole-to-clear on an extended major loop, no requirement regarding arcing time

Figure 32 – Graphical representation of an example of the three valid asymmetrical breaking operations for  $k_{pp} = 1,2$  or  $1,3$



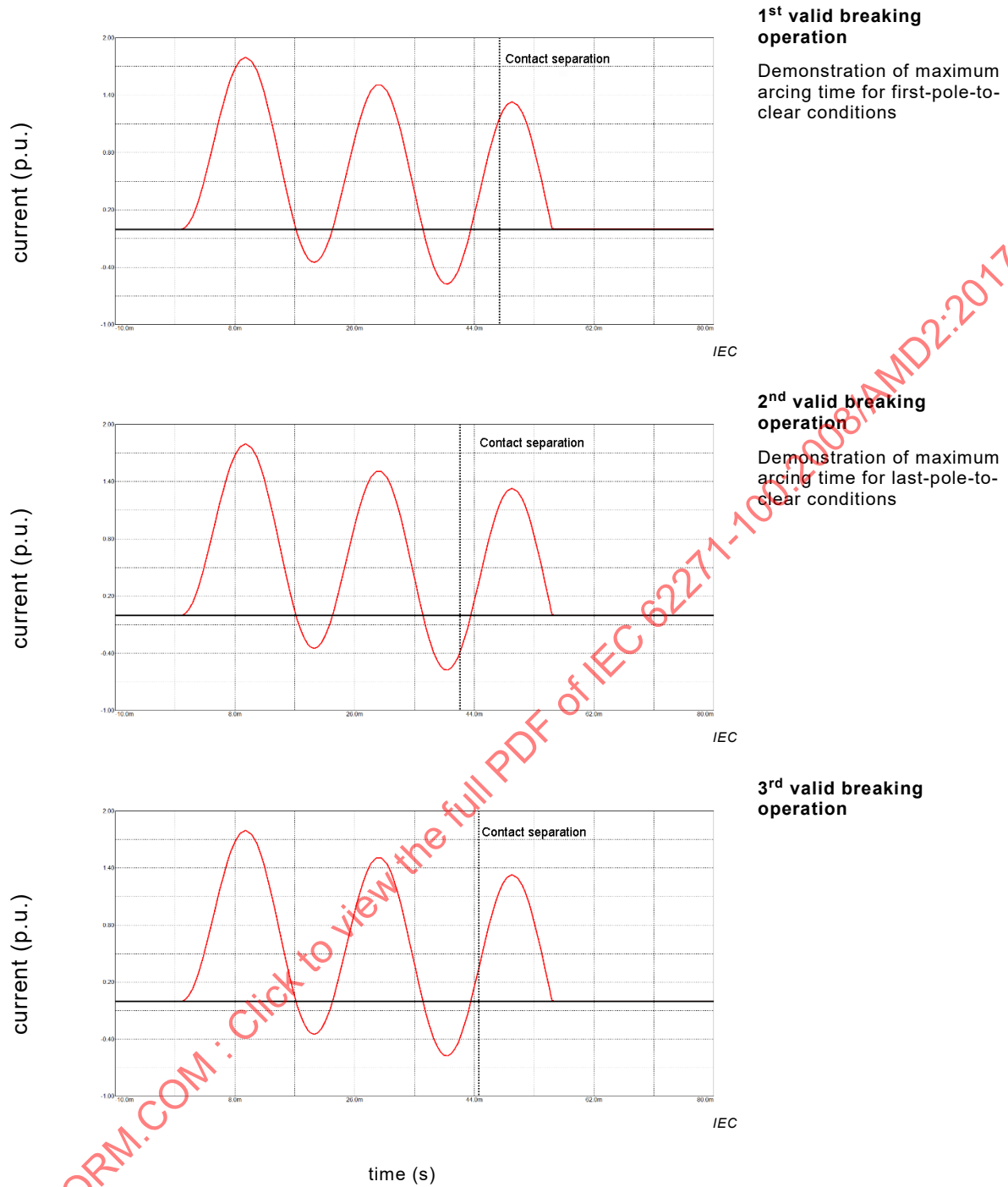
NOTE The polarity of the current can be reversed.

**Figure 33 – Graphical representation of the three valid symmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions for  $k_{pp} = 1,5$**



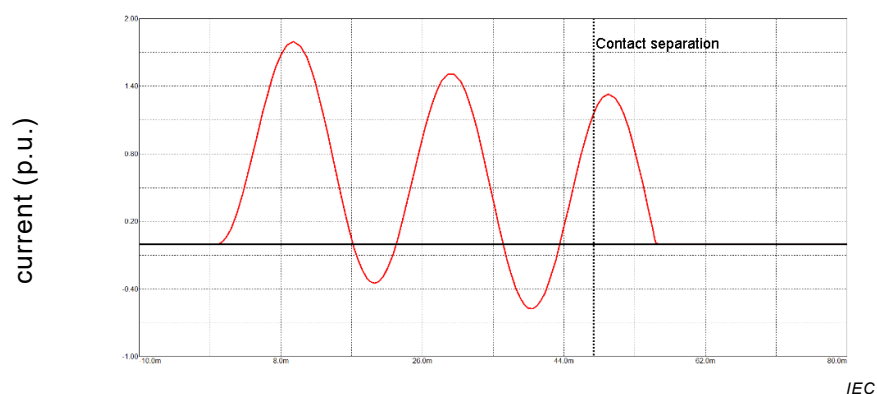
NOTE The polarity of the current can be reversed.

**Figure 34 – Graphical representation of an example of the three valid symmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions for  $k_{pp} = 1, 2$  or  $1, 3$**



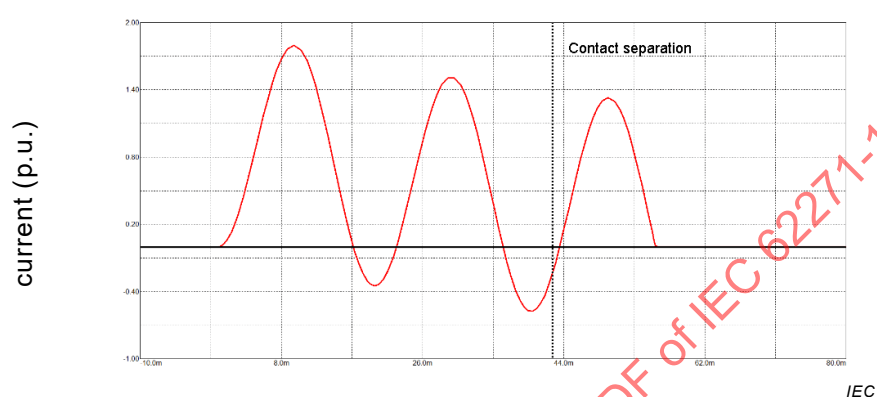
NOTE The polarity of the current can be reversed.

**Figure 35 – Graphical representation of an example of the three valid asymmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase conditions for  $k_{pp} = 1,5$**



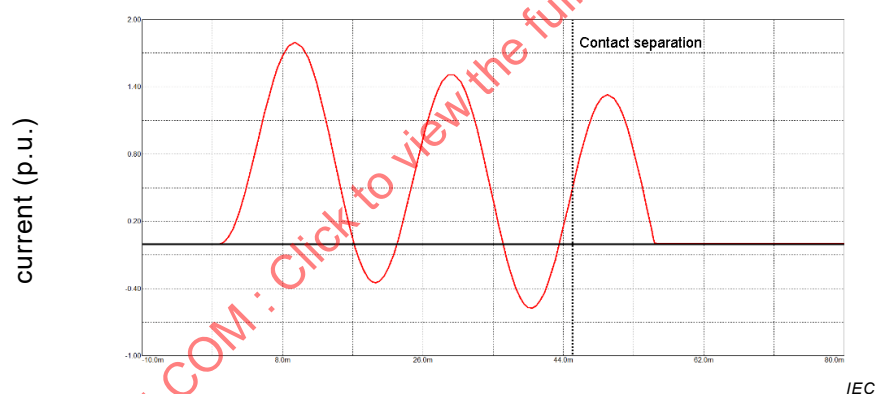
### 1<sup>st</sup> valid breaking operation

Demonstration of maximum arcing time for first-pole-to-clear conditions



### 2<sup>nd</sup> valid breaking operation

Demonstration of maximum arcing time for second-pole-to-clear conditions



### 3<sup>rd</sup> valid breaking operation

NOTE The polarity of the current can be reversed.

**Figure 36 – Graphical representation of an example of the three valid asymmetrical breaking operations for single-phase tests in substitution of three-phase for  $k_{pp} = 1,2$  and  $1,3$**

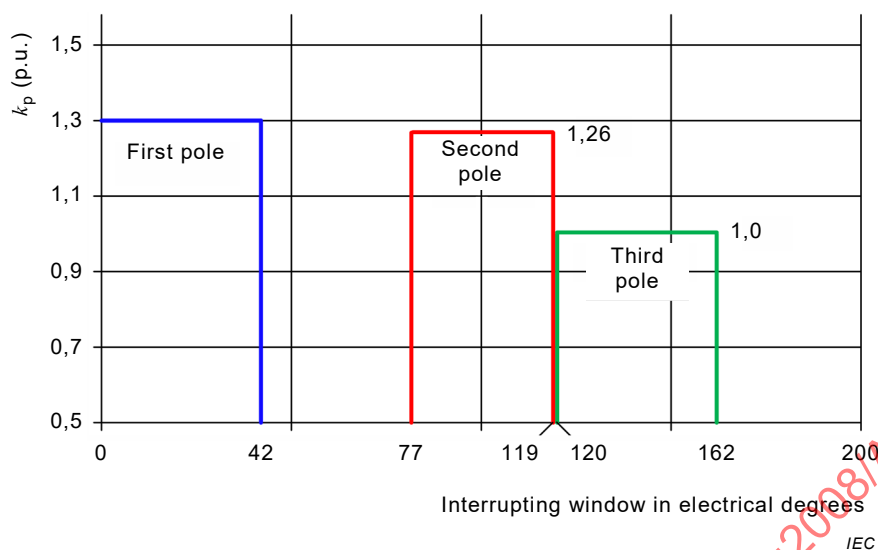


**Figure 37 – Graphical representation of the interrupting window and the voltage factor  $k_p$ , determining the TRV of the individual pole, for systems with a first-pole-to-clear factor of 1,3**

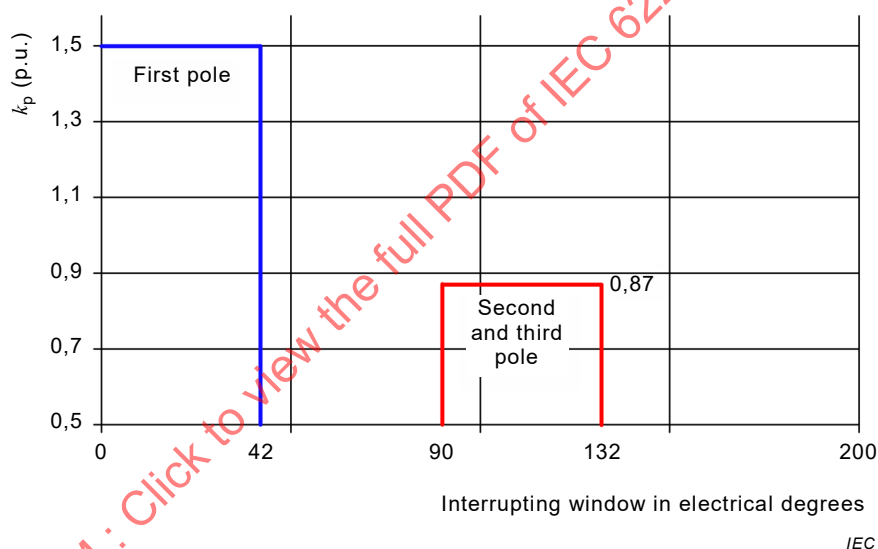
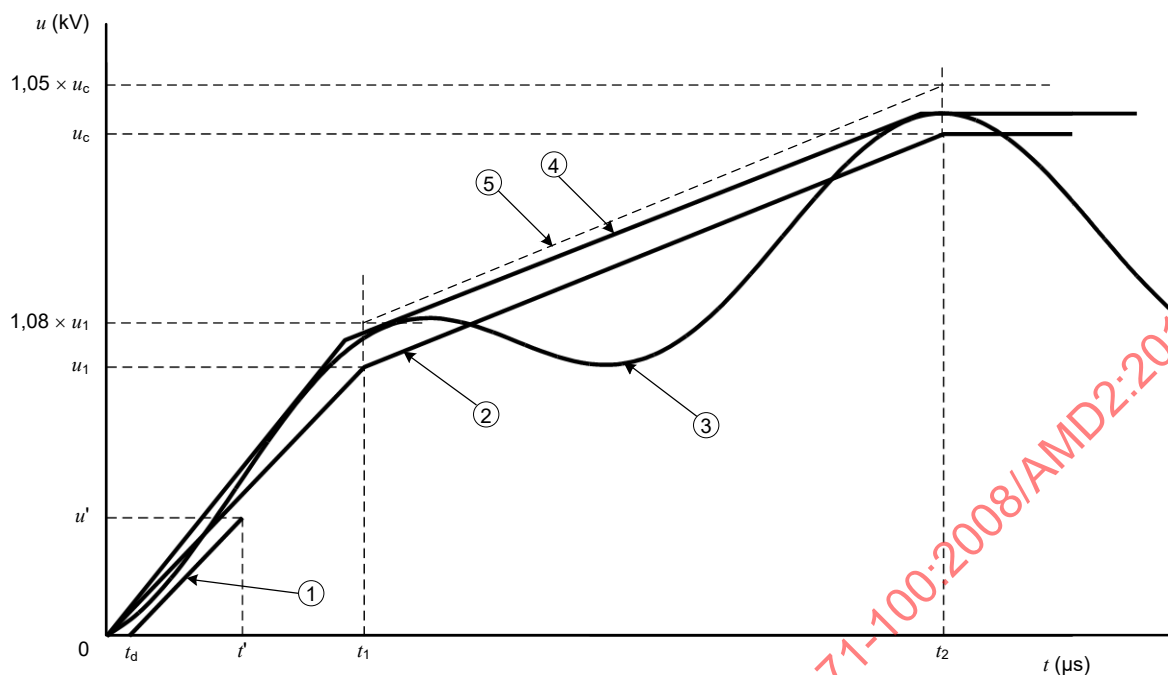


**Figure 38 – Graphical representation of the interrupting window and the voltage factor  $k_p$ , determining the TRV of the individual pole, for systems with a first-pole-to-clear factor of 1,5**



IEC

#### Key

- 1 Delay line of the specified TRV
- 2 Reference line of the specified TRV
- 3 Prospective test TRV
- 4 Envelope of the prospective test TRV
- 5 Upper limit of the envelope of the prospective test TRV

**Figure 39 – Example of prospective test TRV with four-parameter envelope which satisfies the conditions to be met during type test – Case of specified TRV with four-parameter reference line**

Delete Figures 41 and 42.

**Figure 46 – Basic circuit arrangement for short-line fault testing and prospective TRV circuit-type a) according to 6.109.3: source side and line side with time delay**

Replace the existing last subfigure of this figure by the following new figure:

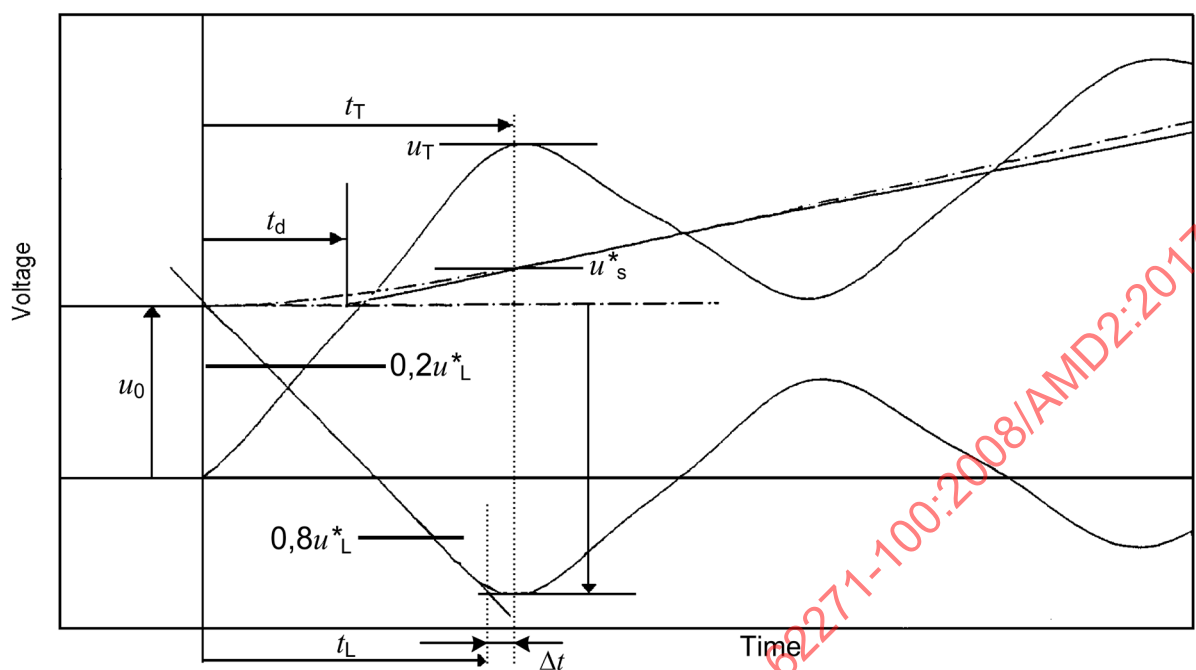


*Replace the existing last subfigure of this figure by the following new figure:*



**Figure 48 – Basic circuit arrangement for short-line fault testing – circuit type b2) according to 6.109.3: source side with time delay and line side without time delay**

Replace the existing last subfigure of this figure by the following new figure:



IEC

## A.2 Transient voltage on line side

Add, at the beginning of the clause, the following two new paragraphs:

Only separate measurement of the line side prospective TRV can be used to assess that the circuit fulfils the requirements given in this standard.

The prospective TRV of the line side circuit shall be measured separately from that of the source side. The resulting rate-of-rise of the line side TRV,  $du_L/dt$ ,  $t_{dL}$ ,  $u_L^*$  and the surge impedance,  $Z$ , shall be within the tolerances given in Annex B.

Replace, in the existing clause, the reference to "4.105" by "6.109.3".

### A.3.1 Rated voltages of 100 kV and above

Replace Equations (A.17a) and (A.17b), modified by Amendment 1, by the following:

- line with time delay (see Figures 46 and 47):  $t_T = t_{dL} + t_L + \Delta t$  (A.17a)
- line with a time delay less than 100 ns (see Figure 48):  $t_T = t_L + \Delta t$  (A.17b),

where  $t_{dL}$  is considered 0 for calculation purposes

$$\Delta t = t_T - (t_{dL} + t_L)$$

### A.4.1 Source side and line side with time delay ( $L_{90}$ and $L_{75}$ for 245 kV, 50 kA, 50 Hz)

Delete, in this table, the entire lines of  $u_T$  and  $t_T$  values.

### A.4.2 Source side with ITRV, line side with time delay ( $L_{90}$ for 245 kV, 50 kA, 50 Hz)

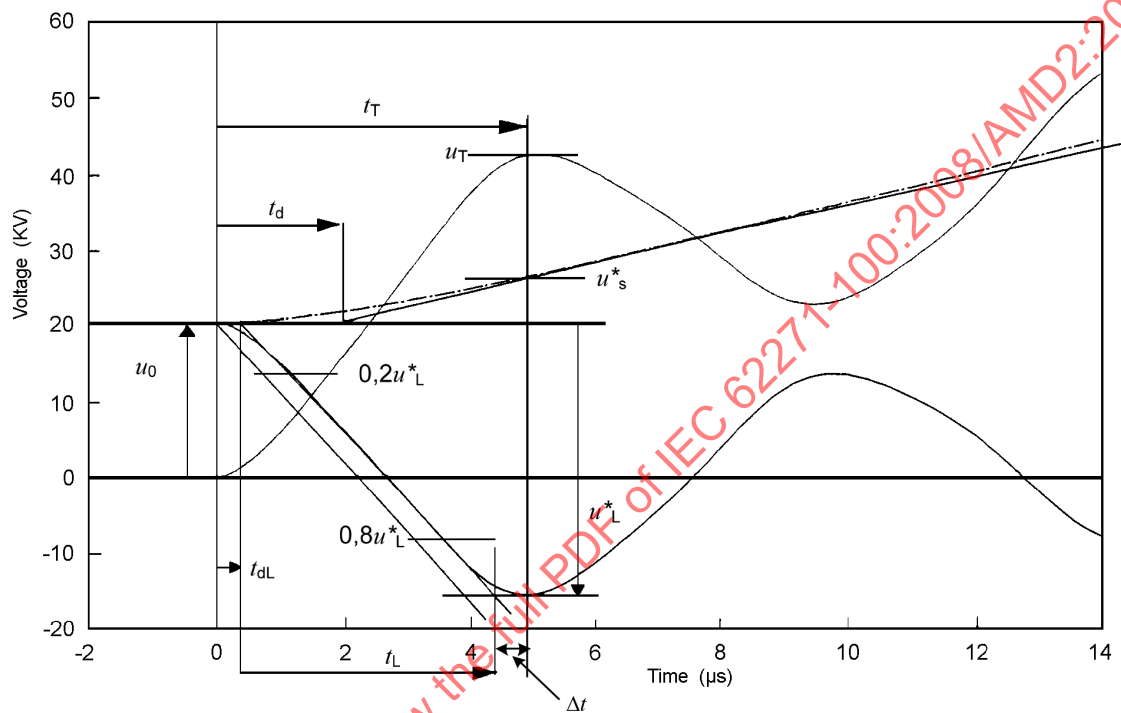
Delete, in this table, the entire lines of  $u_T$  and  $t_T$  values.

**A.4.3 Source side with time delay, line side without time delay ( $L_{90}$  for 245 kV, 50 kA, 50 Hz) – Calculation carried out using a simplified method**

Delete, in this table modified by Amendment 1, the entire lines of  $u_T$  and  $t_T$  values.

**Figure A.1 – Typical graph of line and source side TRV parameters – Line side and source side with time delay**

Replace the existing figure and title by the following:

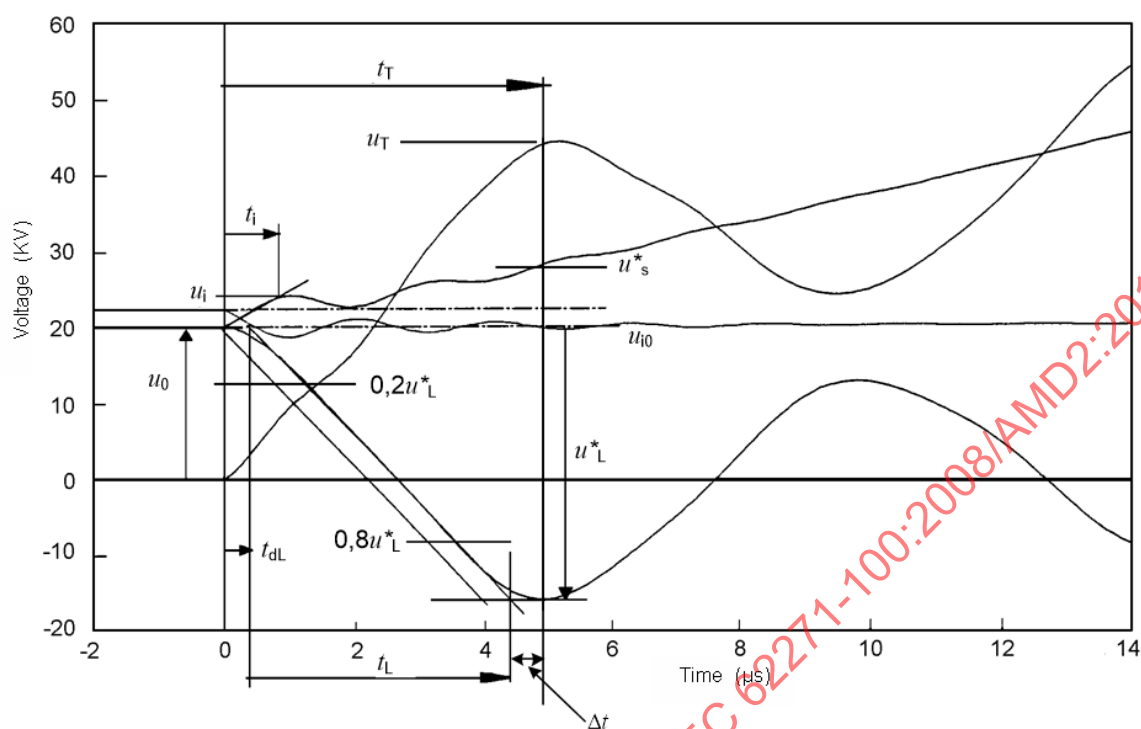


IEC

**Figure A.1 – Typical graph of line and source side TRV parameters – Line side and source side with time delay**

**Figure A.2 – Typical graph of line and source side TRV parameters – Line side and source side with time delay, source side with ITRV**

Replace the existing figure and title by the following:



IEC

**Figure A.2 – Typical graph of line and source side TRV parameters –  
Line side and source side with time delay, source side with ITRV**

**Table B.1 – Tolerances on test quantities for type tests**

*Add, after row 6.101.3, the following new row:*

| 6.101.3.1 | Low and high temperature tests; General | Perpendicular wind speed, if applicable | Specified average test value                                                | ±10 % |  |
|-----------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------|--|
|           |                                         |                                         |                                                                             | ±50 % |  |
|           |                                         |                                         | Limits for any individual measurement from the specified average test value |       |  |

*Delete the following row:*

|         |                                     |        |                         |            |  |
|---------|-------------------------------------|--------|-------------------------|------------|--|
| 6.101.6 | Guide for static terminal load test | Forces | As specified in 6.101.6 | +10<br>0 % |  |
|---------|-------------------------------------|--------|-------------------------|------------|--|

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-100:2008/AMD2:2017

Replace the existing row for 6.102 by the following:

|              |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                             |                       |                                           |  |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|--|
| 6.102.10.2.2 | Demonstration of arcing times<br>Test duty T100a, three-phase<br>test                                                                                                  | $t_{arc1}$ : maximum arcing time in T100a for the first-pole-to-clear                                                                                                                                       | $t_{arc1}$            | $> (t_{arc1}^{-1} \text{ ms})$            |  |
|              |                                                                                                                                                                        | $t_{arc2}$ : maximum arcing time in T100a for the last-pole-to-clear for $k_{pp} = 1,5$                                                                                                                     | $t_{arc2}$            | $> (t_{arc2}^{-1} \text{ ms})$            |  |
|              |                                                                                                                                                                        | $t_{arc3}$ : maximum arcing time in T100a for the second-pole-to-clear for $k_{pp} = 1,3$ or 1,2                                                                                                            | $t_{arc3}$            | $> (t_{arc3}^{-1} \text{ ms})$            |  |
|              |                                                                                                                                                                        | $t_{arc}$ : demonstration of the performance of the second-pole-to-clear under symmetrical fault conditions and demonstration the performance of the third-pole-to-clear under symmetrical fault conditions | $t_{arc}$             | $> (t_{arc}^{-1} \text{ ms})$             |  |
| 6.102.10.2.3 | Demonstration of arcing times<br>Tests for covering the conditions for effectively and non-effectively earthed neutral systems                                         | $t_{arc}$ : maximum possible arcing time calculated for a three-phase condition considering the minimum arcing time value found during T100s test-duty performed for $k_{pp} = 1,5$ .                       | $t_{arc}$             | $> (t_{arc}^{-1} \text{ ms})$             |  |
|              |                                                                                                                                                                        | $t_{arc \text{ max}}$ : maximum arcing                                                                                                                                                                      | $t_{arc \text{ max}}$ | $> (t_{arc \text{ max}}^{-1} \text{ ms})$ |  |
|              |                                                                                                                                                                        | $t_{arc \text{ med}}$ : medium arcing time                                                                                                                                                                  | $t_{arc \text{ med}}$ | $> (t_{arc \text{ med}}^{-1} \text{ ms})$ |  |
|              |                                                                                                                                                                        | $t_{arc1}$ : maximum arcing time in T100a for the first-pole-to-clear                                                                                                                                       | $t_{arc1}$            | $> (t_{arc1}^{-1} \text{ ms})$            |  |
| 6.102.10.3.2 | Demonstration of arcing times<br>Test-duties T10, T30, T60, T100s and T100s(b), OP1 and OP2, L <sub>90</sub> , L <sub>75</sub> and L <sub>60</sub> , single-phase test | $t_{arc2}$ : maximum arcing time in T100a for the last-pole-to-clear for $k_{pp} = 1,5$                                                                                                                     | $t_{arc2}$            | $> (t_{arc2}^{-1} \text{ ms})$            |  |
|              |                                                                                                                                                                        | $t_{arc3}$ : maximum arcing time in T100a for the second-pole-to-clear for $k_{pp} = 1,3$ or 1,2                                                                                                            | $t_{arc3}$            | $> (t_{arc3}^{-1} \text{ ms})$            |  |
|              |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                             |                       |                                           |  |
|              |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                             |                       |                                           |  |
| 6.102.10.3.3 | Demonstration of arcing times<br>Test duty T100a, single-phase<br>test                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                             |                       |                                           |  |
|              |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                             |                       |                                           |  |
|              |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                             |                       |                                           |  |
|              |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                             |                       |                                           |  |



22

22

2) See Figure 39.

Replace the existing row for 6.106 by the following:

|       |                               |                                     |                                               |               |  |
|-------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------|--|
| 6.106 | Basic short-circuit test-duty | Breaking current in T10             | 10 % of rated short-circuit breaking current  | $\pm 20 \%$   |  |
|       |                               | Breaking current in T30             | 30 % of rated short-circuit breaking current  | $\pm 20 \%$   |  |
|       |                               | Breaking current in T60             | 60 % of rated short-circuit breaking current  | $\pm 10 \%$   |  |
|       |                               | Breaking current in T100s           | 100 % of rated short-circuit breaking current | $+5 \%$<br>0  |  |
|       |                               | Breaking current in T100a           | 100 % of rated short-circuit breaking current | $\pm 10 \%$   |  |
|       |                               | Making current in T100s             | Rated short-circuit making current            | $+10 \%$<br>0 |  |
|       |                               | Peak short-circuit current in T100a | Rated peak withstand current                  | $\leq 110 \%$ |  |

Replace the row for 6.108, modified by Amendment 1, by the following:

|                  |                                           |                                                                                         |                                          |                            |  |
|------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|--|
|                  |                                           |                                                                                         |                                          |                            |  |
| 6.108            | Single-phase and double earth fault tests | Breaking current                                                                        | See Figure 45                            | +5 %<br>0                  |  |
|                  |                                           | DC component of breaking current                                                        | ≤ 20 %                                   |                            |  |
|                  |                                           | Peak value of TRV:<br>– for circuit-breakers ≤ 52 kV<br>– for circuit-breakers > 52 kV  | See 6.108.2 and Tables 24, 25, 26 and 27 | +10 %<br>0<br>+5 %<br>0    |  |
|                  |                                           | Rate-of-rise of TRV<br>– for circuit-breakers ≤ 52 kV<br>– for circuit-breakers > 52 kV | See 6.108.2 and Tables 24, 25, 26 and 27 | +15 %<br>0<br>+8 % 3)<br>0 |  |
| 3) See Figure 39 |                                           |                                                                                         |                                          |                            |  |

Replace the row for 6.110, modified by Amendment 1, by the following:

|                  |                                        |                                                      |                                              |                           |  |
|------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|--|
| 6.110            | Out-of-phase making and breaking tests | Power factor                                         | --                                           | ≤ 0,15                    |  |
|                  |                                        | DC component of breaking current                     | ≤ 20 %                                       |                           |  |
|                  |                                        | Applied voltage and power frequency recovery voltage | As specified in 6.110.2                      | ± 5 %                     |  |
|                  |                                        | Peak value of TRV:                                   |                                              |                           |  |
|                  |                                        | – for circuit-breakers ≤ 52 kV                       | See Tables 1 and 2                           | +10 %<br>0                |  |
|                  |                                        | – for circuit-breakers > 52 kV                       | See Tables 1, 2, 3, 4 and 26                 | +5 %<br>0                 |  |
|                  |                                        | Rate of rise of TRV:                                 |                                              |                           |  |
|                  |                                        | – for circuit-breakers ≤ 52 kV                       | See Tables 1 and 2                           | +15 %<br>0                |  |
|                  |                                        | – for circuit-breakers > 52 kV                       | See Tables 1, 2, 3, 4 and 26                 | +8 %<br>0 4)              |  |
|                  |                                        | Instant of making in OP2                             | At crest of applied voltage in one pole      | ± 15°                     |  |
|                  |                                        | Breaking current for OP1                             | 30 % of rated out-of-phase breaking current  | ± 20 % of specified value |  |
|                  |                                        | Breaking current for OP2                             | 100 % of rated out-of-phase breaking current | +10 %<br>0                |  |
| 4) See Figure 39 |                                        |                                                      |                                              |                           |  |

## **Annex E – Method of drawing the envelope of the prospective transient recovery voltage of a circuit and determining the representative parameters**

*Replace the existing title of this annex by the following:*

### **Annex E – Method of determination of the prospective TRV**

#### **E.1 Introduction**

*Replace the existing title and text by the following:*

##### **E.1 General**

A TRV wave may assume different forms, both oscillatory and non-oscillatory.

The TRV related to the rated short-circuit breaking current in accordance with 4.101, is the reference voltage which constitutes the limit of the prospective TRV of circuits which the circuit-breaker shall be capable of withstanding under fault conditions.

The waveform of the TRVs varies according to the arrangement of actual circuits. Two representations of TRV waves are defined, depending on the rated voltage and level of short-circuit current.

- a) A two-parameter representation is used for circuit-breakers with rated voltages less than 100 kV and for circuit-breakers with rated voltages higher than 100 kV when the short-circuit current is equal to or lower than 30 % of rated breaking current and for out of phase test for rated voltages higher than 800 kV.

The two-parameter reference line is shown in Figure 11.

$u_c$  = reference voltage (TRV peak value), in kV;

$t_3$  = time in  $\mu\text{s}$ .

The rate of rise of recovery voltage (RRRV) is  $u_c/t_3$ .

- b) A four-parameter representation is used for circuit-breakers with rated voltages equal to or higher than 100 kV when the short-circuit current is higher than 30 % of rated breaking current and for out of phase condition equal to or higher than 100 kV and lower than or equal to 800 kV.

The four-parameter reference line is shown on Figure 10.

$u_1$  = first reference voltage, in kV;

$t_1$  = time to reach  $u_1$ , in  $\mu\text{s}$ ;

$u_c$  = second reference voltage (TRV peak value), in kV;

$t_2$  = time to reach  $u_c$ , in  $\mu\text{s}$ .

The RRRV is  $u_1/t_1$ . The influence of local capacitance on the source side of the circuit-breaker produces a slower rate of rise of the voltage during the first few microseconds of the TRV. This is taken into account by introducing a time delay.

The TRV wave may be defined by means of an envelope made up of three consecutive line segments; when the wave approaches that of a damped oscillation at one single frequency, the envelope resolves itself into two consecutive line segments. In all cases, the envelope should reflect as closely as possible the actual shape of the TRV. The method described here enables this aim to be achieved in the majority of practical cases with sufficient approximation.

NOTE In some cases the chosen circuit could lead to overstressing the circuit-breaker after the first TRV peak.

## F.1 Introduction

*Replace the title by:*

### F.1 General

*Replace, in the last paragraph, the reference to "4.105" to "6.109".*

*Delete the existing Annex H.*

*Delete the existing Annex I.*

*Delete the existing Annex J.*

*Delete the existing Annex K.*

*Delete the existing Annex L.*

## **Annex M – Requirements for breaking of transformer-limited faults by circuit-breakers with rated voltage higher than 1 kV**

*Replace, in the title modified by Amendment 1, "normative" to "informative".*

**Table M.1 – Standard values of prospective transient recovery voltage for T30, for circuit-breakers intended to be connected to a transformer with a connection of small capacitance – Rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV – Representation by two parameters**

*Replace the title of this table by the following:*

**Table M.1 – Required values of prospective TRV for T30, for circuit-breakers intended to be connected to a transformer with a connection of small capacitance – Rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV for non-effectively earthed neutral systems**

Add, after the existing Table M.1, the new table as follows:

**Table M.3 – Required values of prospective TRV for T30, for circuit-breakers intended to be connected to a transformer with a connection of small capacitance – Rated voltage higher than 1 kV and less than 100 kV for effectively earthed neutral systems**

| Rated voltage<br>$U_r$<br>kV | Test-duty | First-pole-to-clear factor<br>$k_{pp}$<br>p.u. | Amplitude factor<br>$k_{af}$<br>p.u. | TRV peak value<br>$u_c$<br>kV | Time<br>$t_3$<br>µs | Time delay<br>$t_d$<br>µs | Voltage<br>$u'$<br>kV | Time<br>$t'$<br>µs | RRRV <sup>a</sup><br>$u_c/t_3$<br>kV/µs |
|------------------------------|-----------|------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------------|
| 3,6                          | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 6,1                           | 4,0                 | 1                         | 2,0                   | 2                  | 1,58                                    |
| 4,76 <sup>b</sup>            | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 8,1                           | 4,5                 | 1                         | 2,7                   | 2                  | 1,86                                    |
| 7,2                          | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 12,2                          | 5,0                 | 1                         | 4,1                   | 2                  | 2,56                                    |
| 8,25 <sup>b</sup>            | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 14,0                          | 5,0                 | 1                         | 4,7                   | 2                  | 2,70                                    |
| 12                           | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 20,4                          | 5,5                 | 1                         | 6,8                   | 3                  | 3,62                                    |
| 15 <sup>b</sup>              | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 25,5                          | 6,0                 | 1                         | 8,5                   | 3                  | 4,20                                    |
| 17,5                         | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 29,7                          | 6,5                 | 1                         | 9,9                   | 3                  | 4,53                                    |
| 24                           | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 40,8                          | 8,0                 | 1                         | 13,6                  | 4                  | 4,95                                    |
| 25,8 <sup>b</sup>            | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 43,8                          | 8,0                 | 1                         | 14,6                  | 4                  | 5,37                                    |
| 36                           | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 61,1                          | 10,0                | 2                         | 20,4                  | 5                  | 6,17                                    |
| 38 <sup>b</sup>              | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 64,5                          | 10,0                | 2                         | 21,5                  | 5                  | 6,43                                    |
| 48,3 <sup>b</sup>            | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 82,0                          | 12,0                | 2                         | 27,3                  | 6                  | 6,79                                    |
| 52                           | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 88,3                          | 12,0                | 2                         | 29,4                  | 6                  | 7,29                                    |
| 72,5 <sup>b</sup>            | T30       | 1,3                                            | 1,6                                  | 123                           | 15,5                | 2                         | 41,0                  | 7                  | 7,89                                    |

<sup>a</sup> RRRV = rate of rise of recovery voltage.  
<sup>b</sup> Used in some countries.

**Table M.2 – Standard values of prospective transient recovery voltage for circuit-breakers with rated voltages higher than 800 kV intended to be connected to a transformer with a connection of low capacitance**

Replace the title of this table, modified by Amendment 1, by the following:

**Table M.2 – Required values of prospective TRV for circuit-breakers with rated voltages higher than 800 kV intended to be connected to a transformer with a connection of low capacitance**

#### M.4 Circuit-breakers with rated voltage higher than 800 kV

Delete, in the second and third paragraphs modified by Amendment 1, the word "rated".

### Annex N – Use of mechanical characteristics and related requirements

Replace Annex N by the following:

## **Annex N** (normative)

### **Use of mechanical characteristics and related requirements**

At the beginning of the type tests, the mechanical characteristics of the circuit-breaker shall be established, for example, by recording no-load travel curves and by defining additional characteristic parameters, such as, if applicable, momentary speed at a certain stroke, closing and opening times, damping time, etc. The tolerances applicable to these additional parameters shall also be defined and declared by the manufacturer. The mechanical characteristics will serve as the reference for the purpose of characterising the mechanical behaviour of the circuit-breaker.

The mechanical characteristics shall be used to confirm that the different test objects used during the mechanical, making, breaking and switching type tests behave mechanically in a similar way. All test objects used for mechanical, making, breaking and switching type tests shall have their respective no-load contact travel curves within the following described envelopes. Care should be exercised in the interpretation of the curves when, due to variable measuring methods at different laboratories, a direct comparison between the envelopes cannot be made.

The reference mechanical characteristics are also used to confirm that production units behave mechanically in a similar way as the test objects used during type tests.

The type and location of the sensor used for the record of the mechanical characteristics shall be stated in the test report. The mechanical characteristic curve which can be measured at any part of the power kinematic chain may be recorded continuously or discretely. In case of discrete measurement, at least 20 discrete values should be given for the complete stroke.

The no-load contact travel curves shall be used for determining the limits of the allowable deviations over or under this reference curve. From this reference curve, two envelope curves shall be drawn from the instant of contact separation to the end of the contact travel for the opening operation and from the beginning of the contact travel to the instant of contact touch for the closing operation. The distance of the two envelopes from the original course shall be  $\pm 5\%$  of the total stroke as shown in Figure 23b. In case of circuit-breakers with a total stroke of 40 mm or less the distance of the two envelopes from the original course shall be  $\pm 2$  mm. It is recognised that for some designs of circuit-breakers, these methods may be unsuitable, as for example for vacuum circuit-breakers or for some circuit-breakers rated less than 52 kV. In such cases the manufacturer shall define an appropriate method to verify the proper operation of the circuit-breaker.

If mechanical characteristics other than no-load contact travel curves are used, the manufacturer shall define the alternative method and the tolerances used.

The series of Figures 23a to 23d are for illustrative purposes and only illustrate the opening operation. They are idealised, and do not show the variation in profile caused by the friction effect of the contacts or the end of travel damping. In particular, it is important to note that the effects of damping are not shown in these diagrams. The oscillations produced at the end of travel are dependent upon the efficiency of the damping of the drive system. The shape of these oscillations may be a deliberate function of the design and may slightly vary from one specimen to another. Therefore, it is important that any variations in the curve at the end of the stroke, which are outside the tolerance margin given by the envelope, are fully explained and understood before they are rejected or accepted as showing equivalence with the reference curves. In general, all curves should fall within the envelopes for acceptance.

The travel characteristics of all production units shall lie within the 10 % total allowable tolerance around the reference travel characteristic. The reference travel characteristic may lie at any point within the defined tolerance band but the parameters of the 10 % tolerance

band, once defined, shall remain unchanged. Figures 23c and 23d show the two extremes of the allowable cases which are  $-0\%$ ,  $+10\%$  and  $-10\%$ ,  $+0\%$  respectively.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-100:2008/AMD2:2017

## **Annex O – Guidance for short-circuit and switching test procedures for metal-enclosed and dead tank circuit-breakers**

*Replace the existing annex by the following:*

### **Annex O** (normative)

#### **Requirements for short-circuit and switching test procedures for metal-enclosed and dead tank circuit-breakers**

##### **O.1 General**

This annex contains requirements for test circuits and procedures for type testing relevant to short-circuit making and breaking and switching performance of metal-enclosed and dead tank circuit-breakers. Other methods are not excluded, provided that they supply the correct stresses to the circuit-breaker.

The various test cases are evaluated and test circuits are given, or special precautions required to use test circuits developed for open-air equipment. The tests described can be made in principle in both direct and synthetic circuits. For synthetic test circuits, see IEC 62271-101.

Circuit-breakers in metal enclosures have to fulfil their duties under conditions which are different from those prevailing in insulating enclosures.

The main features with certain consequences on making and breaking tests are:

- a) The switching units are integrated parts of a given substation design. Thus, the surrounding components of a substation have to be considered when defining the test conditions;
- b) Several breaking units of one pole, or even all three poles, can be placed within a common enclosure. Various components of switching units of the substation as well as other live and earthed parts are in immediate vicinity. This will cause high dielectric stress on the insulating medium and may lead to strong interactions between parts of switching units and the surroundings. It also results in a relatively high capacitance and low inductance of tested and surrounding parts.

The implications of such interactions have to be considered in determining the test requirements;

- c) In metal-enclosed equipment, the insulating surfaces are exposed to a relatively high dielectric stress and this may make them sensitive to deposit.

##### **O.2 Reduced number of units for testing purposes**

Due to limitations of test facility it may not be possible to perform the tests on a complete circuit-breaker. In these cases alternative procedures can be used if the following instructions are taken into account.

Depending on the alternatives, the following interactions between the tested object and the omitted parts should be analysed:

- between circuit-breaker units and surrounding parts of the substation;
- between poles or between poles and the enclosure;

- between different units or between units and the enclosure.

Two different stresses can be considered, which usually can be treated separately:

- stress of the interrupting gap;
- stress of insulation between phases, or between phases and the enclosure.

### **O.3 Tests for single pole in one enclosure**

#### **O.3.1 General**

The conditions of 6.102 shall be fulfilled.

#### **O.3.2 Terminal fault tests**

##### **O.3.2.1 General**

For short-circuit-currents in excess of 60 % of the short-circuit breaking current the test circuits shall comply with Figures 25a, 26a, 27a, 28a.

Test circuits given in Figures 25b, 26b, 27b and 28b do not stress metal-enclosed and dead tank circuit-breakers in earthed fault conditions correctly but are acceptable for short-circuit currents equal to or less than 60 % of the rated short-circuit breaking current.

##### **O.3.2.2 Unit testing**

Subclause 6.102.4.2 is applicable with the following additional requirements:

During T100s and T100a the full-pole TRV and recovery voltage between the relevant live parts and the enclosures shall be applied.

### **O.3.3 Capacitive current switching tests**

#### **O.3.3.1 General**

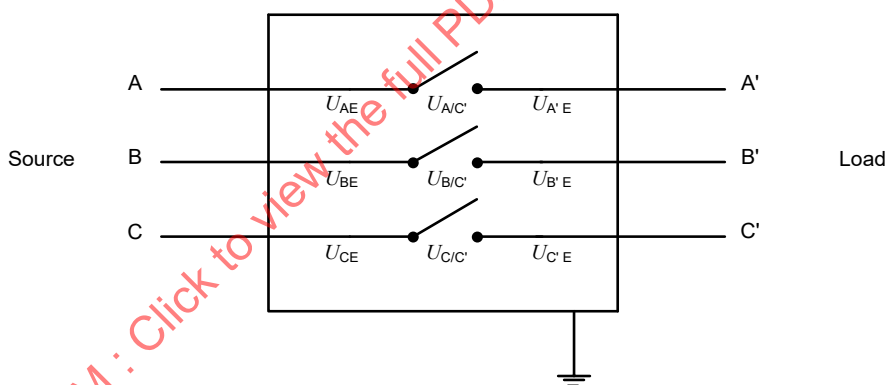
The testing procedure shall be in agreement with 6.111.

Table O.1 gives the source-side and load-side voltages and the recovery voltages during three-phase capacitive current switching in actual service conditions and shall be used for three phase tests.

Table O.2 gives the corresponding values of the source-side, load-side, and recovery voltages during single-phase capacitive current switching tests.

**Table O.1 – Three-phase capacitive current switching in service conditions:  
voltages on the source-side, load-side, and recovery voltages**

| Voltage at circuit-breaker terminal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Values of the voltages for effectively earthed neutral systems |                                             |                                      | Values of the voltages for non-effectively earthed neutral systems |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Unearthed capacitors                                           | Earthed capacitor banks and screened cables | Lines                                | In all cases                                                       |
| $U_{CE}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                                      | $U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                   | $U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$            | $U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                                          |
| $U_{C/E}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $1,5 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                           | $U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                   | $1,2 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ | $1,5 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                               |
| $U_{CC'}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $2,5 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                           | $2 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$          | $2,2 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ | $2,5 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                               |
| <p>Pole C is assumed to be the first-pole-to-clear.</p> <p>C: source side</p> <p>C': load side</p> <p>C/C': across the open contacts</p> <p><math>U_r</math> = rated voltage</p> <p><math>U_{CE}</math> = voltage between source-side terminal and earth</p> <p><math>U_{C'E}</math> = voltage between load-side terminal and earth</p> <p><math>U_{C/C'}</math> = voltage across the open contacts</p> <p>NOTE 1 The designation of the poles is illustrated in Figure O.1.</p> <p>NOTE 2 The values given do not consider the voltage drop at the supply side after interruption.</p> |                                                                |                                             |                                      |                                                                    |



IEC

**Figure O.1 – Test configuration considered in Tables O.1, O.2 and O.3**

**Table O.2 – Corresponding capacitive current-switching tests in accordance with 6.111.7 for single-phase laboratory tests. Values of voltages on the source-side, load-side, and recovery voltages**

| Voltage at circuit-breaker terminal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Values of the voltages for effectively earthed neutral systems |                                             |                                      | Values of the voltages for non-effectively earthed neutral systems |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Unearthed capacitors                                           | Earthed capacitor banks and screened cables | Lines                                | In all cases                                                       |
| $U_{CE}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $1,3 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                           | $U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                   | $1,2 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ | $1,3 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                               |
| $U_{C'E}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $1,5 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                           | $U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                   | $1,2 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ | $1,5 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                               |
| $U_{CC'}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $2,8 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                           | $2 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$          | $2,4 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ | $2,8 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                               |
| <p>Pole C is assumed to be the first-pole-to-clear.</p> <p>C: source side</p> <p>C': load side</p> <p>C/C': across the open contacts</p> <p><math>U_r</math> = rated voltage</p> <p><math>U_{CE}</math> = voltage between source-side terminal and earth</p> <p><math>U_{C'E}</math> = voltage between load-side terminal and earth</p> <p><math>U_{CC'}</math> = voltage across the open contacts</p> <p>NOTE 1 The designation of the poles is illustrated in Figure O.1.</p> <p>NOTE 2 The values given do not consider the voltage drop at the supply side after interruption.</p> |                                                                |                                             |                                      |                                                                    |

### O.3.3.2 Single-pole testing of three-pole circuit-breakers

In some test circuits, both voltages are combined at one terminal of the circuit-breaker, the other terminal being earthed.

This condition is more severe for the insulation to earth and may affect the severity of the test across the circuit-breaker.

For single-phase tests performed to prove three-phase switching of capacitor banks with unearthed neutral or switching in non-effectively earthed neutral systems, the dielectric withstand can be demonstrated by one of the following test methods:

- Switching tests with an intermediate earth point in the source-side or in the load-side resulting in a voltage between the live parts on the source side and the enclosure of  $1,5 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$  and a recovery voltage of  $2,8 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ ;
- Subject to agreement of the manufacturer, tests can be performed with a supply circuit having an earthed neutral and a supply voltage of  $1,5 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ .

If for single-phase tests, according to 6.111.7, the dielectric stress between the live part and the enclosure is not correctly reproduced, additional dielectric tests shall be performed applying the load side dielectric stresses to the enclosure according to Table O.2. The load side voltage shall be applied, with both polarities, on each terminal of the circuit-breaker and maintained for 0,3 s.

In addition to the conditions of Tables O.1 and O.2, the following paragraphs give information concerning switching of capacitive currents in the presence of earth faults (see Annex S).

With the neutral of the supply effectively earthed and in presence of single- or two-phase earth faults, the voltages in the healthy phases can reach up to  $1,4 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ . The precise value depends on the zero sequence impedances. In that case, the values of the voltages on source-side and load-side terminals to earth which shall be achieved are:

- $U_{C/E} = U_{C'/E} = 1,4 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$
- $U_{C/C'} = 2,8 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$  (recovery voltage)

With the neutral of the supply not effectively earthed and in presence of single- or two-phase earth faults, the voltages in the healthy phases can reach up to  $1,7 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ .

In that case, the values of the voltages on source-side and load-side terminals to earth which shall be achieved are:

- $U_{C/E} = U_{C'/E} = 1,7 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$
- $U_{C/C'} = 3,4 \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$  (recovery voltage)

### O.3.3.3 Unit testing

Unit testing is only acceptable if the voltage to earth at one terminal is equal to the load side voltage to earth during full-pole testing. This condition can be met by:

- energizing the enclosure of the circuit-breaker, insulated from earth, with a proper voltage, or
- in the case of two series connected breaking units per pole, performing half-pole testing with both voltages (a.c. and d.c.) superimposed at one terminal and the other terminal of that half-pole being earthed.

## O.4 Tests for three poles in one enclosure

### O.4.1 Terminal fault tests

For short-circuit-currents in excess of 60 % of the short-circuit breaking current the test circuits shall comply with Figures 25a or 26a. Test circuits given in Figures 25b, 26b, 27a, 27b, 28a and 28b do not stress metal-enclosed and dead tank circuit-breakers in earthed fault conditions correctly but are acceptable for short-circuit testing equal to or less than 60 % of the rated short-circuit breaking current.

### O.4.2 Capacitive current switching tests

In case of single-phase testing, the dielectric stresses between the insulation to earth and between poles are not reproduced correctly and additional dielectric test are necessary. If not otherwise verified, the stresses stated in Table O.3 shall be verified by applying them at both polarities and for a duration of at least 0,3 s in case of d.c. voltages and for a duration of at least 0,3 s in case of a.c. voltages. In case of d.c. voltages on two terminals these voltages shall have opposite polarity. For voltage distribution of the a.c. and d.c. voltages, see Table O.1. All terminals not being part of the testing shall be earthed.

Depending on configuration of the circuit-breaker, some tests are redundant and do not need to be performed.

**Table O.3 – Capacitive current switching in actual service conditions:  
maximum typical voltage values**

| Voltage between terminal                                                                                                                                                    | Effectively earthed neutral systems |                         |       | Non-effectively earthed neutral systems |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------|-----------------------------------------|
|                                                                                                                                                                             | Unearthed capacitor banks           | Earthed capacitor banks | Lines |                                         |
|                                                                                                                                                                             | p.u.                                | p.u.                    | p.u.  | p.u.                                    |
| A-earth                                                                                                                                                                     | 1,0                                 | 1,0                     | 1,0   | 1,5                                     |
| A'-earth                                                                                                                                                                    | 1,5                                 | 1,0                     | 1,2   | 1,0                                     |
| A-A'                                                                                                                                                                        | 2,5                                 | 2,0                     | 2,2   | 2,5                                     |
| A'-B'                                                                                                                                                                       | ≤1,73                               | ≤1,73                   | ≤1,73 | ≤1,73                                   |
| A'-C'                                                                                                                                                                       | 2,37                                | 2,0                     | 2,1   | 2,37                                    |
| B'-C'                                                                                                                                                                       | ≤1,73                               | 2,0                     | 1,9   | ≤1,73                                   |
| A-B'                                                                                                                                                                        | 1,87                                | 2,0                     | 2,0   | 1,87                                    |
| A-C'                                                                                                                                                                        | 1,87                                | 2,0                     | 1,9   | 1,87                                    |
| B-A'                                                                                                                                                                        | 2,5                                 | 2,0                     | 2,2   | 2,5                                     |
| B-C'                                                                                                                                                                        | 1,87                                | 2,0                     | 1,9   | 1,87                                    |
| C-A'                                                                                                                                                                        | 2,5                                 | 2,0                     | 2,2   | 2,5                                     |
| C-B'                                                                                                                                                                        | 1,87                                | 2,0                     | 2,0   | 1,87                                    |
| A-A' First-pole-to-clear      A = Source side      A' = Load side                                                                                                           |                                     |                         |       |                                         |
| NOTE 1 The indicated values for non-effectively earthed neutral systems apply if the source-side zero sequence capacitance is negligible compared to that of the load side. |                                     |                         |       |                                         |
| NOTE 2 $1 \text{ p.u.} = U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$                                                                                                                           |                                     |                         |       |                                         |
| NOTE 3 Poles B and C clear at the first current zeros after the clearance of pole A.                                                                                        |                                     |                         |       |                                         |
| NOTE 4 The voltage value for A-B, A-C and B-C are in all cases equal to $U_r \sqrt{2}$ .                                                                                    |                                     |                         |       |                                         |
| NOTE 5 The voltages B-earth, B'-earth, B-B' and C-earth, C'-earth and C-C' are not incorporated in the table, because their values are lower than those for pole A.         |                                     |                         |       |                                         |

Delete the existing Annex P.

Delete the existing Annex Q.

## Annex R – Requirements for circuit-breakers with opening resistors

Replace, in the entire annex modified by Amendment 1, " $L_v$ " by " $L_s$ " (3 occurrences).

Add, after Annex R, modified by Amendment 1, the following new Annex S:

## **Annex S**

(normative)

### **Verification of capacitive current switching in presence of single or two-phase earth faults**

#### **S.1 General**

In case of single or two-phase earth faults higher voltages across open circuit-breaker and to earth will appear on the healthy phases. Those values are not covered with type tests according 6.111.

This annex is applicable in case switching of capacitive currents in the presence of single or two-phase earth faults is required by a user. A test procedure based on class C1 is considered to be sufficient because of the low probability of occurrence.

If during tests according to 6.111.9, the requirements regarding test voltage, test current and number of tests of this annex are fulfilled no further testing is required for verification of capacitive current switching in presence of single or two-phase earth faults.

Only a limited number of single-phase laboratory tests as per Clause S.4 shall be made with a test voltage as given in Clause S.2 and a capacitive current as given in Clause S.3. A preconditioning test is not required.

6.111.1 to 6.111.3, 6.111.5 and 6.111.6 apply to tests according to this annex.

#### **S.2 Test voltage**

The test voltage measured at the circuit-breaker location immediately prior to opening shall be not less than the product of  $U_r/\sqrt{3}$  and the following capacitive voltage factor  $k_c$ :

- **1,4** for tests corresponding to breaking in the presence of single or two-phase earth faults in effectively earthed neutral systems;
- **1,7** for tests corresponding to breaking in non-effectively earthed neutral systems in the presence of single or two-phase earth faults.

For unit tests, the test voltage shall be chosen to correspond to the most stressed unit of the pole of the circuit-breaker.

The power frequency test voltage and the d.c. voltage resulting from the trapped charge on the capacitive circuit shall be maintained for a period of at least 0,3 s after breaking.

For testing of metal-enclosed circuit-breakers refer also to Annex O.

#### **S.3 Test current**

For capacitive current switching in the presence of earth faults, the test current shall be:

- 1,25 times the rated capacitive breaking current in effectively earthed neutral systems;
- 1,7 times the rated capacitive breaking current in non-effectively earthed neutral systems.

#### **S.4 Test-duty**

Subclauses 6.111.9.1 and 6.111.9.2 are applicable but restricted to test-duty 2. For line-charging, cable-charging and single capacitor bank current switching the making operations can be carried out as no-load operations. For back-to-back capacitor bank current switching the making operations may be carried out separately at phase-to-earth voltage.

- 6 CO, distributed on one polarity (step: 30°);
- 3 CO at minimum arcing time on one polarity;
- 6 CO, distributed on the other polarity (step: 30°);
- 3 CO at minimum arcing time on the other polarity;
- additional tests to achieve 24 CO.

If the behaviour of the circuit-breaker prevents accurate control, the total number of tests is limited to 36.

#### **S.5 Criteria to pass the tests**

The circuit-breaker has successfully passed the tests based on the following criteria:

- a) One restrike is permitted to occur without additional testing. If two restrikes occurred then the test-duty shall be repeated on the same apparatus without any maintenance. If no more additional restrike happens during this repetition of tests, the circuit-breaker shall have successfully passed the tests;
- b) External flashover and phase-to-ground flashover shall not take place.

The behaviour during test and the condition after test shall comply with 6.102.8 and 6.102.9.4.

## Bibliography

*Replace the existing reference [4] modified by Amendment 1 by the following:*

- [4] IEC TR 62271-306:2012, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 306: Guide to IEC 62271-100, IEC 62271-1 and other IEC standards related to alternating current circuit-breakers*

*Replace the existing reference [6] by the following:*

- [6] ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

*Add, after the existing reference [12], the following reference:*

- [13] CIGRE Technical Brochure 163:2000, *Guide for SF<sub>6</sub> gas mixtures*

*Add the following document to the documents listed as “Other documents providing additional information”*

IEC 60050-461:2008, *International Electrotechnical vocabulary – Part 461: Electric cables*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-100:2008/AMD2:2017

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-100:2008/AMD2:2017

## AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le sous-comité 17A: Appareils de connexion, du comité d'études 17 de l'IEC: Appareillage à haute tension.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

| FDIS          | Rapport de vote |
|---------------|-----------------|
| 17A/1135/FDIS | 17A/1139/RVD    |

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

Le comité a décidé que le contenu de cet amendement et de la publication de base ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. À cette date, la publication sera

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

Le contenu du corrigendum de janvier 2018 a été pris en considération dans cet exemplaire.

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

---

## INTRODUCTION à l'Amendement

Cet amendement inclut les modifications techniques majeures suivantes:

- la TTR assignée a été remplacée par un facteur assigné de premier pôle qui coupe;
  - les durées assignées ont été déplacées à l'Article 5 (Conception et construction) et ne sont plus des caractéristiques assignées. La détermination de la durée de coupure a été déplacée vers l'IEC 62271-306;
  - le nombre de spécimens d'essai a été supprimé;
  - nouvelle procédure d'essai pour la séquence d'essais T100a;
  - les TTR pour les disjoncteurs de tension assignée inférieure ou égale à 52 kV utilisés dans des réseaux à neutre effectivement à la terre ont été ajoutées;
  - le 6.111 (établissement et coupure de courants capacitifs) a été reformulé;
  - plusieurs annexes informatives ont été déplacées vers l'IEC TR 62271-306.
-

## 1.1 Domaine d'application

*Ajouter, après le troisième alinéa existant, l'alinéa suivant:*

La présente norme couvre uniquement les essais directs.

## 1.2 Références normatives

*Remplacer dans la liste existante, la référence à l'IEC 60137 par la nouvelle référence suivante:*

IEC 60137:2008, *Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1 000 V*

*Ajouter, à la liste existante, la référence suivante:*

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

## 3 Termes et définitions

### 3.1.132

#### **réseau par câbles**

*Remplacer les références existantes au "Tableau 1" (2 occurrences) par "Tableaux 24 et 44".*

### 3.1.133

#### **réseau aérien**

*Remplacer la définition existante par la nouvelle définition suivante, sans modifier les notes:*

réseau dans lequel la TTR pendant la coupure de défaut aux bornes à 100 % du pouvoir de coupure n'excède pas l'enveloppe à deux paramètres dérivée à partir des Tableaux 25 et 45 de la présente norme

*Ajouter, après la définition existante 3.1.133, les nouveaux termes et définitions suivants:*

### 3.1.134

#### **câble à ceinture**

câble multiconducteur dont l'isolation comporte deux parties, l'une appliquée sur chaque âme et l'autre sur l'ensemble des conducteurs

[VEI 461-06-11]

### 3.1.135

#### **câble à champ radial**

câble dans lequel l'isolation de chaque conducteur est recouverte d'un écran

[VEI 461-06-12]

### 3.4.120

#### **disjoncteur de classe S2**

*Remplacer la définition existante par la nouvelle définition suivante:*

disjoncteur utilisé dans un réseau aérien

*Ajouter, après la définition 3.4.120, le nouveau terme suivant et la nouvelle définition suivante:*

**3.4.121**

**arrachement du courant**

interruption du courant avant le passage par zéro naturel du courant à fréquence industrielle du circuit connecté

**3.7.133**

**durée d'ouverture**

*Remplacer le terme, la définition et les notes existants comme suit:*

**durée d'ouverture (d'un appareil mécanique de connexion)**

[VEI 441-17-36]

**3.7.134**

**durée d'arc (d'un appareil de connexion multipolaire)**

*Remplacer le terme, la définition et la source existants comme suit:*

**durée d'arc (d'un pôle)**

intervalle de temps entre l'instant de début d'un arc sur un pôle et l'instant de l'extinction finale de l'arc sur ce pôle

[VEI 441-17-37]

**3.7.135**

**durée de coupure**

*Remplacer la définition existante par ce qui suit:*

intervalle de temps entre le début de la durée d'ouverture d'un appareil mécanique de connexion et la fin de la durée d'arc totale

[VEI 441-17-39, modifiée]

**3.7.136**

**durée de fermeture**

*Ajouter, après la définition existante, la nouvelle source suivante:*

[VEI 441-17-41, modifiée]

**3.7.137**

**durée d'établissement**

*Remplacer la source de la définition comme suit:*

[VEI 441-17-40, modifiée]

**3.7.140**

**durée de coupure-établissement (d'une refermeture automatique)**

*Ajouter, après la note existante, la source suivante:*

[VEI 441-17-44, modifiée]

**3.7.144**

**durée d'établissement-coupure**

*Remplacer la définition existante ainsi que les notes par ce qui suit:*

intervalle de temps entre le début de la circulation du courant dans le premier pôle pendant une manœuvre de fermeture et la fin de la durée d'arc totale pendant la manœuvre d'ouverture qui lui fait suite

[VEI 441-17-43, modifiée]

### 3.7.159

#### **durée minimale de coupure**

*Remplacer la définition et la note comme suit:*

somme de la durée minimale d'ouverture, de la durée minimale de la protection par relais (0,5 cycle) et de la plus courte durée d'arc de coupure d'une petite alternance dans la phase avec une asymétrie intermédiaire qui commence avec une petite alternance au moment de l'établissement du courant de court-circuit

NOTE 1 Cette définition est applicable seulement pour la détermination des paramètres d'essai durant les essais de coupure en court-circuit selon la séquence d'essais T100a.

NOTE 2 Pour les besoins des essais, la durée d'arc minimale obtenue pendant la séquence d'essais T100s est utilisée.

*Ajouter, après la définition existante 3.7.160, ajoutée par l'Amendement 1, les nouveaux termes et définitions suivants:*

### 3.7.161

#### **initialisation de la manœuvre (d'ouverture ou de fermeture)**

instant auquel l'ordre d'effectuer la manœuvre est reçu au circuit de commande

### 3.7.162

#### **durée d'arc totale**

intervalle de temps entre l'instant d'apparition d'un arc dans un pôle et l'instant de l'extinction de l'arc dans tous les pôles

### 3.7.163

#### **connexion directe à une ligne aérienne**

connexion entre un disjoncteur et une ligne aérienne ayant une capacité inférieure à 5 nF

NOTE Lorsque la capacité du câble par unité de longueur est de 0,3 nF/m, la longueur du câble est inférieure à environ 17 m. Pour de plus amples informations, voir l'IEC TR 62271-306.

## 3.8 Index des définitions

*Ajouter, à la liste alphabétique existante, les nouvelles lignes suivantes:*

|                                                                   |         |
|-------------------------------------------------------------------|---------|
| arrachement du courant .....                                      | 3.4.121 |
| câble à ceinture .....                                            | 3.1.134 |
| câble à champ radial .....                                        | 3.1.135 |
| connexion directe à une ligne aérienne .....                      | 3.7.163 |
| durée d'arc totale .....                                          | 3.7.162 |
| initialisation de la manœuvre (d'ouverture ou de fermeture) ..... | 3.7.161 |

## 4 Caractéristiques assignées

*Remplacer le point l) par le nouveau point suivant:*

l) facteur assigné de premier pôle qui coupe;

*Remplacer le point o) existant par le nouveau point suivant:*

o) vide.

*Remplacer le point q) par le nouveau point suivant:*

q) pouvoir de coupure assigné de lignes à vide, pour les disjoncteurs assurant la mise en et hors circuit des lignes aériennes de transport (obligatoire pour les disjoncteurs de tensions assignées supérieures à 52 kV et les disjoncteurs de classe S2);

*Supprimer le point r) existant à la fin de la deuxième liste existante, et la placer au début de la troisième liste existante avant le point s).*

### 4.10 Pressions assignées d'alimentation en gaz comprimé pour l'isolement, la manœuvre et/ou la coupure

*Remplacer le titre par ce qui suit:*

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

*Ajouter, entre les paragraphes 4.10 et 4.101, le nouveau paragraphe 4.11 suivant:*

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

Le paragraphe 4.11 de l'IEC 62271-1 est applicable.

#### 4.101 Pouvoir de coupure assigné en court-circuit ( $I_{sc}$ )

*Remplacer, dans le premier alinéa, «4.102» par «6.104.5.1» et «4.105» par «6.109.3».*

#### 4.102 Tension transitoire de rétablissement relative au pouvoir de coupure assigné

*Remplacer le paragraphe complet modifié par l'Amendement 1, y compris les Tableaux 1 à 7, par ce qui suit:*

#### 4.102 Facteur assigné de premier pôle qui coupe

Le facteur de premier pôle qui coupe ( $k_{pp}$ ) est fonction de la mise à la terre du neutre du réseau. Les valeurs assignées de  $k_{pp}$  sont:

- 1,2 pour la coupure de défaut aux bornes par des disjoncteurs de tensions assignées supérieures à 800 kV dans des réseaux à neutre effectivement à la terre;
- 1,3 pour la coupure de défaut aux bornes par des disjoncteurs de tensions assignées inférieures ou égales à 800 kV dans des réseaux à neutre effectivement à la terre;
- 1,5 pour la coupure de défaut aux bornes par des disjoncteurs de tensions assignées inférieures à 245 kV dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre.

Dans la présente norme, il est admis que les disjoncteurs de tensions assignées inférieures ou égales à 170 kV puissent être soit dans des réseaux à neutre effectivement à la terre, soit dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre. Les disjoncteurs de tensions assignées supérieures à 170 kV sont dans des réseaux effectivement à la terre.

NOTE Les facteurs de premier pôle qui coupe associés suivants pour des conditions de discordance de phases ne sont pas des caractéristiques assignées:

- 2,0 pour une coupure dans des conditions de discordance de phases dans des réseaux à neutre effectivement à la terre;
- 2,5 pour une coupure dans des conditions de discordance de phases dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre.

#### **4.105 Caractéristiques pour les défauts proches en ligne**

*Remplacer le titre et le texte du paragraphe complet, modifiés par l'Amendement 1, y compris le Tableau 8, par ce qui suit:*

##### **4.105 Pouvoir de coupure de défaut proche en ligne**

Un pouvoir de coupure de défaut proche en ligne est exigé pour les disjoncteurs raccordés directement à des lignes aériennes et avec un pouvoir de coupure assigné en court-circuit supérieur à 12,5 kA.

##### **4.106 Pouvoir de fermeture et pouvoir de coupure assignés en discordance de phases**

*Remplacer le texte existant par ce qui suit:*

Le pouvoir de coupure assigné en discordance de phases est le courant maximal en discordance de phases que le disjoncteur doit pouvoir couper dans les conditions d'utilisation et de fonctionnement exigées dans la présente norme et dans un circuit dont la tension de rétablissement est spécifiée ci-après.

La spécification d'un pouvoir de fermeture et d'un pouvoir de coupure assignés en discordance de phases n'est pas obligatoire.

Si un pouvoir de coupure assigné en discordance de phases est assigné, il doit être égal à 25 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit et le pouvoir de fermeture assigné en discordance de phases doit être égal à la valeur de crête du pouvoir de coupure assigné en discordance de phases, sauf spécification contraire.

Les conditions normales d'emploi en ce qui concerne les pouvoirs de fermeture et de coupure assignés en discordance de phases sont les suivantes:

- manœuvres d'ouverture et de fermeture effectuées conformément aux instructions données par le constructeur en ce qui concerne la manœuvre et l'emploi correct du disjoncteur et de son équipement auxiliaire;
- conditions de mise à la terre du neutre du réseau correspondant à celles pour lesquelles le disjoncteur a été soumis à l'essai;
- absence de défaut de chaque côté du disjoncteur.

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

*Remplacer le texte par ce qui suit:*

Le pouvoir de coupure assigné de lignes à vide est le courant de lignes à vide jusqu'auquel le disjoncteur doit être capable de couper sous sa tension assignée dans les conditions d'utilisation et de fonctionnement exigées dans la présente norme. La classe de réamorçage associée (C1 ou C2) doit être assignée lorsqu'un pouvoir de coupure de lignes à vide est assigné.

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

*Remplacer le texte par ce qui suit:*

Le pouvoir de coupure assigné de câbles à vide est le courant de câbles à vide jusqu'auquel le disjoncteur doit être capable de couper sous sa tension assignée dans les conditions d'utilisation et de fonctionnement exigées dans la présente norme. La classe de réamorçage associée (C1 ou C2) doit être assignée lorsqu'un pouvoir de coupure de câbles à vide est assigné.

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

*Remplacer le premier alinéa par ce qui suit:*

Le pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs est le courant coupé de batterie unique de condensateurs jusqu'auquel le disjoncteur doit être capable de couper sous sa tension assignée dans les conditions d'utilisation et de fonctionnement exigées dans la présente 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 alimentation du disjoncteur. La classe de réamorçage associée (C1 ou C2) doit être assignée lorsqu'un pouvoir de coupure de batterie unique de condensateurs est assigné.

#### **Tableau 9 – Valeurs préférentielles de pouvoir de coupure et de pouvoir de fermeture assignés de courants capacitifs**

*Dans la NOTE 2 du tableau, remplacer "l'Annexe H" par "l'IEC TR 62271-306".*

#### **4.107.4 Pouvoir de coupure assigné de batterie de condensateurs à gradins**

*Remplacer le premier alinéa par ce qui suit:*

Le pouvoir de coupure assigné de batterie de condensateurs à gradins est le courant de batterie de condensateurs à gradins jusqu'auquel le disjoncteur doit être capable de couper sous sa tension assignée dans les conditions d'utilisation et de fonctionnement exigées dans la présente norme. La classe de réamorçage associée (C1 ou C2) doit être assignée lorsqu'un pouvoir de coupure de batterie de condensateurs à gradins est assigné.

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

*Remplacer le texte existant par ce qui suit:*

Le pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins est la valeur de crête du courant que le disjoncteur doit être capable d'établir sous sa tension assignée et avec une fréquence du courant d'appel pendant une manœuvre simultanée d'établissement triphasé (voir Tableau 9).

#### **4.109 Durées assignées**

*Remplacer le titre et le texte du paragraphe, y compris 4.109.1 modifié par l'Amendement 1, par ce qui suit:*

##### **4.109 Vide**

*Supprimer le paragraphe entier et son titre, y compris 4.109.1 modifié par l'Amendement 1.*

#### **5.4 Équipements auxiliaires**

*Supprimer, dans le deuxième tiret et dans la Note 2, le mot «assignée».*

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

*Remplacer le titre par ce qui suit:*

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

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

*Remplacer le titre par ce qui suit:*

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

## **5.7 Manœuvre manuelle indépendante**

*Remplacer le titre par ce qui suit:*

## **5.7 Manœuvre manuelle indépendante ou à source d'énergie extérieure**

### **5.101 Exigences concernant la simultanéité des pôles pendant des manœuvres simples de fermeture et d'ouverture**

*Remplacer le texte entier de ce paragraphe par ce qui suit:*

Les exigences suivantes sont applicables dans les conditions assignées de la tension et de la pression auxiliaires et de commande pour la manœuvre:

- La différence maximale entre les instants d'entrée en contact à la fermeture dans les pôles individuels ne doit pas dépasser un quart de cycle à la fréquence assignée. Si un pôle possède plusieurs éléments de coupure connectés en série, la différence maximale entre les instants d'entrée en contact des éléments de coupure en série ne doit pas dépasser un sixième de cycle à la fréquence assignée. Lorsque des résistances de fermeture sont utilisées, la différence maximale entre les instants d'entrée en contact à la fermeture dans les résistances de fermeture individuelles ne doit pas dépasser un demi-cycle à la fréquence assignée. Si, sur un pôle, plus d'une résistance de fermeture individuelle est utilisée, chacune étant attribuée à l'un des éléments de coupure connectés en série, la différence maximale entre les instants d'entrée en contact dans les résistances de fermeture en série ne doit pas dépasser un tiers de cycle à la fréquence assignée;
- La différence maximale entre les instants de séparation des contacts à l'ouverture ne doit pas dépasser un sixième de cycle à la fréquence assignée. Si un pôle possède plusieurs éléments de coupure connectés en série, la différence maximale entre les instants de séparation des contacts dans les éléments de coupure en série ne doit pas dépasser un huitième de cycle à la fréquence assignée.

NOTE Pour un disjoncteur ayant des pôles séparés, cette exigence est applicable lorsque ces pôles manœuvrent dans les mêmes conditions; après une manœuvre de refermeture unipolaire, les conditions de fonctionnement des trois mécanismes peuvent ne pas être identiques.

*Ajouter, après 5.104, les nouveaux paragraphes et le nouveau tableau comme suit:*

### **5.105 Durées**

Se référer aux Figures 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7.

Des valeurs peuvent être affectées aux durées suivantes:

- durée d'ouverture (à vide);
- durée de coupure;
- durée de fermeture (à vide);
- durée d'ouverture-fermeture (à vide);
- durée de refermeture (à vide);
- durée de fermeture-ouverture (à vide);
- durée de préinsertion (à vide).

Les durées se rapportent

- aux tensions d'alimentation assignées des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de commande (voir 4.8);
- à la fréquence d'alimentation assignée des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires (voir 4.9);
- à la pression assignée d'alimentation en gaz comprimé pour les systèmes à pression entretenue (voir 4.10);
- aux niveaux assignés de remplissage pour l'isolement et/ou la manœuvre (voir 4.11);
- à la température de l'air ambiant de  $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

NOTE 1 Assigner une durée d'établissement ou une durée d'établissement-coupure n'a pas d'utilité pratique du fait de la variation de la durée d'arc et de la durée de préarc.

NOTE 2 La durée de coupure est déterminée à l'aide de la méthode de calcul donnée dans l'IEC TR 62271-306 [4].

### 5.106 Charges mécaniques statiques

Les disjoncteurs pour l'extérieur doivent être conçus de façon à résister et à fonctionner correctement lorsqu'ils sont chargés mécaniquement par des contraintes résultant de la glace, du vent et des conducteurs raccordés. Si cela est exigé, cette aptitude est démontrée au moyen de calculs.

La couche de glace et la pression de vent sur le disjoncteur doivent être conformes aux indications de 2.1.2 de l'IEC 62271-1.

Quelques exemples d'efforts statiques dus au vent, à la glace et au poids sur des conducteurs flexibles et tubulaires raccordés sont donnés à titre de guide dans le Tableau 14.

Par hypothèse, l'effort de traction dû aux conducteurs raccordés s'applique à l'extrémité de la borne du disjoncteur.

Le constructeur doit tenir compte du fait que ces efforts peuvent être appliqués simultanément.

**Tableau 14 – Exemples d'efforts statiques horizontaux et verticaux pour l'essai avec efforts statiques sur les bornes**

| Plage de tensions assignées<br>$U_r$<br>kV | Plage de courants assignés<br>$I_r$<br>A | Effort statique horizontal<br>$F_{th}$ |                               | Effort statique vertical<br>$F_{tv}$<br>N |
|--------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
|                                            |                                          | Longitudinal<br>$F_{thA}$<br>N         | Transversal<br>$F_{thB}$<br>N |                                           |
| < 100                                      | 800 à 1 250                              | 500                                    | 400                           | 500                                       |
| < 100                                      | 1 600 à 2 500                            | 750                                    | 500                           | 750                                       |
| 100 à 170                                  | 1 250 à 2 000                            | 1 000                                  | 750                           | 750                                       |
| 100 à 170                                  | 2 500 à 4 000                            | 1 250                                  | 750                           | 1 000                                     |
| 245 à 362                                  | 1 600 à 4 000                            | 1 250                                  | 1 000                         | 1 250                                     |
| 420 à 800                                  | 2 000 à 4 000                            | 1 750                                  | 1 250                         | 1 500                                     |
| 1 100 à 1 200                              | 4 000 à 6 300                            | 3 500                                  | 3 000                         | 2 500                                     |

## 6 Essais de type

Déplacer le texte actuellement sous l'Article 6 (y compris le Tableau 11 modifié par l'Amendement 1) entre 6.1 et 6.1.1.

Supprimer, dans le deuxième alinéa, la deuxième phrase «Le nombre de spécimens d'essais...».

Remplacer le cinquième alinéa commençant par «L'incertitude.....» et la note par ce qui suit:

L'incertitude élargie d'un système de mesure complet pour la détermination des caractéristiques assignées (par exemple, le courant de court-circuit, la tension appliquée et la tension de rétablissement) doit être  $\leq 5\%$  et évaluée avec une probabilité de couverture de 95 % correspondant à un facteur d'élargissement  $k=2$  dans l'hypothèse d'une distribution normale.

NOTE Les procédures relatives à la détermination de l'incertitude de mesure sont données dans le Guide ISO/IEC 98-3 [6].

Ajouter, avant le Tableau 11 modifié par l'Amendement 1, l'alinéa suivant:

Si le disjoncteur peut comporter d'autres mécanismes d'entraînement, les essais de type complets conformément au Tableau 11 doivent être effectués sur le disjoncteur comportant un seul type de mécanisme d'entraînement. Les autres mécanismes d'entraînement sont considérés comme des mécanismes d'entraînement alternatifs tels que définis en 3.5.126, à condition qu'ils satisfassent aux exigences associées définies en 6.102.7. Les essais à répéter pour les mécanismes alternatifs sont définis en 6.1.102.

### Tableau 11 – Essais de type

Remplacer le tableau, modifié par l'Amendement 1, par ce qui suit:

| 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 et à la valeur de crête du courant admissible |  | 6.6                   |
| Essais complémentaires sur les circuits auxiliaires et de commande              |  | 6.10                  |
| Essai mécanique à température ambiante (classe M1)                              |  | 6.101.2.1 à 6.101.2.3 |
| Essais d'établissement et de coupure du courant de court-circuit                |  | 6.102 à 6.106         |

| Essais de type dépendant des exigences                                                             | Condition exigeant un essai de type                                                | Paragraphes |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Essais de tension de perturbation radioélectrique                                                  | $U_T \geq 245$ kV                                                                  | 6.3         |
| Vérification du degré de protection                                                                | Classe IP assignée                                                                 | 6.7         |
| Essai d'étanchéité                                                                                 | Systèmes à pression entretenus, scellés ou autonomes                               | 6.8         |
| Essais CEM                                                                                         | Les équipements ou composants électroniques sont inclus dans le système secondaire | 6.9         |
| Essai de rayonnements X                                                                            | Disjoncteur à vide                                                                 | 6.11        |
| Essais d'endurance mécanique accrue sur les disjoncteurs en cas de conditions spéciales de service | Caractéristiques assignées de classe M2                                            | 6.101.2.4   |
| Essais à haute et à basse températures                                                             | Selon les exigences                                                                | 6.101.3     |
| Essai d'humidité                                                                                   | Isolation soumise à des contraintes de tension et de condensation                  | 6.101.4     |

| Essais de type dépendant des exigences                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Condition exigeant un essai de type                                                                           | Paragraphes   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Essais au courant critique                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Performances du disjoncteur par rapport aux conditions de 6.107.1                                             | 6.107         |
| Essais de défaut proche en ligne                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $U_r \geq 15 \text{ kV}$ et $I_{sc} > 12,5 \text{ kA}$ , en cas de connexions directes à des lignes aériennes | 6.109         |
| Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Caractéristiques assignées en discordance de phases                                                           | 6.110         |
| Essais d'endurance électrique (uniquement pour $U_r \leq 52 \text{ kV}$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Caractéristiques assignées de classe E2                                                                       | 6.112         |
| Essai pour vérifier le fonctionnement dans des conditions sévères de formation de glace                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Disjoncteurs pour l'extérieur avec parties externes mobiles et épaisseur de glace assignée (10 mm / 20 mm)    | 6.101.5       |
| Essai de défaut monophasé                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Réseaux à neutre effectivement à la terre                                                                     | 6.108         |
| Essais de double défaut à la terre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Réseaux à neutre non effectivement à la terre                                                                 |               |
| Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs:<br>– essais de coupure de courant de lignes à vide<br>– essais de coupure de courant de câbles à vide<br>– essais d'établissement et de coupure de courants de batterie unique de condensateurs<br>– essais d'établissement et de coupure de courants de batterie de condensateurs à gradins                                                                                                                                                                                                                                                                     | Caractéristiques et classification applicables assignées (C1 ou C2)                                           | 6.111         |
| Manœuvre d'inductances shunt et de moteurs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Comme spécifié                                                                                                | IEC 62271-110 |
| Les essais de type obligatoires, présentés dans la partie supérieure du tableau, sont exigés pour tous les disjoncteurs, quelle que soit la tension assignée, la conception ou l'utilisation prévue. Les autres essais de type, présentés dans la partie inférieure du tableau, sont exigés pour tous les disjoncteurs pour lesquels les caractéristiques assignées associées sont spécifiées, par exemple l'établissement et la coupure en discordance de phases, ou pour lesquels une condition spécifique est satisfaite, par exemple, la RIV n'est exigée que pour les tensions assignées supérieures ou égales à 245 kV. |                                                                                                               |               |

Ajouter, après le Tableau 12, le nouveau paragraphe suivant:

#### 6.1.102 Essais de type à répéter pour les disjoncteurs comportant des mécanismes d'entraînement alternatifs

Les essais de type suivants doivent être répétés sur les disjoncteurs comportant des mécanismes d'entraînement alternatifs:

- essais mécaniques à température ambiante (selon 6.101.2);
- essais à haute et à basse températures (selon 6.101.3);
- essais d'établissement et de coupure en court-circuit (tel que défini au 6.102.7);
- essais au courant de courte durée admissible et à la valeur de crête du courant admissible sur les disjoncteurs dont les contacts principaux sont en butée (selon 6.6).

#### 6.2.11 Essais de tension comme vérification d'état

Ajouter, après l'alinéa commençant par «Lorsque, après des essais mécaniques ou d'environnement...» ajouté par l'Amendement 1, les phrases suivantes:

Pour les disjoncteurs à cuve sous tension à éléments multiples comportant des éléments identiques selon 6.102.4.2.3, l'essai de tension comme vérification d'état peut être effectué sous forme d'essai sur éléments séparés.

Ajouter, après 6.10.5, les nouveaux paragraphes suivants:

### 6.10.6 Essai diélectrique

Le paragraphe 6.10.6 de l'IEC 62271-1 s'applique avec le complément suivant:

- l'essai diélectrique doit être effectué sur les circuits auxiliaires et de commande à l'état neuf;
- au cours de l'essai, le (les) moteur(s) doit (doivent) être déconnecté(s), à condition qu'il(s) ai(en)t été soumis à l'essai séparément.

NOTE La répétition des essais diélectriques sur le ou les moteurs accélère leur vieillissement.

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

Le paragraphe 6.11 de l'IEC 62271-1 est applicable.

#### 6.101.1.1 Caractéristiques mécaniques

*Remplacer le texte entier de ce paragraphe par ce qui suit:*

Au début des essais de type, les caractéristiques mécaniques du disjoncteur doivent être déterminées. L'IEC TR 62271-306 donne des exemples de mesure des caractéristiques mécaniques. Les caractéristiques mécaniques servent de référence pour caractériser le comportement mécanique du disjoncteur. De plus, les caractéristiques mécaniques doivent être utilisées pour confirmer que les différents spécimens d'essai utilisés durant les essais de type mécaniques, d'établissement, de coupure et de manœuvre sont identiques au niveau mécanique. Les caractéristiques mécaniques de référence sont également utilisées pour confirmer que les unités de production ont un comportement mécanique similaire à celui des spécimens d'essai utilisés au cours des essais de type.

Des exemples de caractéristiques de fonctionnement qui peuvent être enregistrées sont donnés ci-après:

- courbes de déplacement à vide;
- durées de fermeture et d'ouverture;
- autres paramètres mécaniques, si nécessaire.

Les caractéristiques mécaniques doivent être produites au cours d'un essai à vide effectué avec une seule manœuvre O et une seule manœuvre C à la tension d'alimentation assignée des dispositifs de manœuvre et des circuits auxiliaires et de commande, à la pression de fonctionnement assignée pour la manœuvre et, pour des raisons pratiques d'essais, à la pression minimale pour la coupure.

L'Annexe N donne des exigences et une explication sur l'utilisation des caractéristiques mécaniques.

#### 6.101.1.4 État du disjoncteur pendant et après les essais

*Ajouter, à la fin de la liste, le nouveau tiret suivant:*

- l'augmentation de la résistance du circuit principal est inférieure ou égale à 20 %. Si l'augmentation de la résistance dépasse 20 %, un essai d'échauffement est alors applicable afin de déterminer si l'objet en essai peut supporter son courant assigné en service continu sans dépasser de plus de 10 K les limites de température données dans le Tableau 3 de l'IEC 62271-1.

#### 6.101.2.1 Généralités

*Remplacer le dernier alinéa par ce qui suit:*

Pendant l'essai, la lubrification de pièces extérieures au circuit principal est autorisée conformément aux instructions du constructeur, mais aucun réglage mécanique ni maintenance d'aucune sorte ne sont autorisés.

#### **6.101.2.4 Essais d'endurance mécanique accrue sur les disjoncteurs de classe M2 en cas d'exigences spéciales de service**

*Remplacer le deuxième tiret par ce qui suit:*

- entre les séries d'essais spécifiés, certaines interventions de maintenance, lubrification et réglage mécanique par exemple, sont autorisées et elles doivent être effectuées conformément aux instructions du constructeur. Seul est permis le remplacement des pièces extérieures au circuit principal, ne faisant pas partie de la chaîne cinématique, et qui sont répertoriées dans le programme de maintenance;

#### **6.101.3.1 Généralités**

*Ajouter, après la NOTE 2, le texte suivant:*

Pour les disjoncteurs à cuve mise à la terre équipés d'un ou de plusieurs éléments de chauffage de la cuve prévus pour empêcher la liquéfaction du gaz dans des conditions de basse température ambiante, la séquence d'essais spécifiée en 6.101.3.3 ne suffit pas à démontrer que l'élément de chauffage du gaz est correctement conçu pour empêcher la liquéfaction du gaz dans des conditions de basse température ambiante. Pour de tels disjoncteurs, la séquence d'essais spécifiée en 6.101.3.3 doit être réalisée en simulant une vitesse de vent moyenne de 10 km/h ( $\pm 20\%$ ), appliquée perpendiculairement à l'axe longitudinal d'une phase externe du disjoncteur. Le vent doit être appliqué de l'étape c) à l'étape j) de la procédure d'essai décrite en 6.101.3.3.

La vitesse du vent doit être mesurée à au moins 5 positions le long de l'axe longitudinal du disjoncteur et à une distance de 0,5 m ( $\pm 0,1$  m) de la cuve externe du disjoncteur (voir Figure 59). Chaque mesurage doit être espacé d'environ 0,3 m. Le nombre de mesurages doit être tel que la longueur de mesure dépasse d'au moins 0,5 m la longueur du disjoncteur à chaque extrémité. La vitesse du vent pour chacune des mesures individuelles doit être dans un intervalle de  $\pm 50\%$  de la valeur moyenne du vent.

Il est admis que les mesurages de la vitesse du vent dans une chambre climatique relativement petite (par rapport aux dimensions du disjoncteur) peuvent être difficiles à réaliser et que les turbulences du vent provenant des murs de la cellule d'essai voisins ne peuvent être évitées. Dans de tels cas, il convient d'accepter des écarts plus importants, comme exigé ci-dessus.

L'application d'un vent transversal peut rendre impossible le mesurage de l'étanchéité au gaz. Si tel est le cas, il est admis de diviser la procédure d'essai à basse température en deux parties. Après avoir réalisé la séquence d'essais exigée avec la simulation du vent transversal, la séquence d'essais à basse température doit être répétée, sans vent transversal ni élément de chauffage du gaz, à une basse température  $T_L$  inférieure ou égale à la plus basse température mesurée au cours du premier essai sur la surface de la cuve du disjoncteur à proximité des joints d'étanchéité. Dix points de mesure de la température doivent être utilisés au minimum pour mesurer la température sur la surface de la cuve à proximité des joints d'étanchéité.

#### **6.101.4.1 Généralités**

*Remplacer, dans le deuxième alinéa, «l'échantillon» par «le spécimen».*

#### **6.101.6 Essai avec efforts statiques sur les bornes**

*Supprimer ce paragraphe, modifié par l'Amendement 1, y compris son titre et le Tableau 14.*

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

*Remplacer les paragraphes 6.102.1 et 6.102.2 modifiés par l'Amendement 1 par ce qui suit:*

### 6.102.1 Généralités

Les paragraphes suivants sont applicables à tous les essais d'établissement et de coupure, sauf spécification contraire dans les articles correspondants.

Lorsque cela est applicable, avant le début des essais, le constructeur doit déclarer les valeurs des

- conditions minimales de fonctionnement du mécanisme d'entraînement garantissant la séquence de manœuvres assignée (par exemple, la pression minimale pour la manœuvre dans le cas d'un mécanisme oléopneumatique);
- conditions minimales de fonctionnement du dispositif de coupure garantissant la séquence de manœuvres assignée (par exemple, la pression minimale pour l'interruption dans le cas d'un disjoncteur au SF<sub>6</sub>).

### 6.102.2 Exigences supplémentaires

Les disjoncteurs doivent être capables d'établir et de couper tous les courants de court-circuit, symétriques et asymétriques, jusque et y compris leur pouvoir de coupure assigné en court-circuit: cela est vérifié lorsque les disjoncteurs établissent et coupent les courants triphasés symétriques et asymétriques spécifiés compris entre 10 % (ou les valeurs plus faibles de courant spécifiées en 6.107.2 si 6.107.1 est applicable) et 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit à la tension assignée.

De plus, les disjoncteurs ayant une valeur assignée  $k_{pp} = 1,2$  ou  $1,3$  doivent être capables de couper les courants de court-circuit monophasés (voir 6.108). Par ailleurs, les disjoncteurs ayant une valeur assignée  $k_{pp} = 1,5$  doivent être capables de couper les courants de court-circuit dans le cas de doubles défauts à la terre (voir 6.108).

Les essais d'établissement et de coupure conformément à la classe S2 couvrent les essais d'établissement et de coupure conformément à la classe S1.

Les disjoncteurs, auxquels des caractéristiques assignées d'établissement et de coupure de courants capacitifs ont été attribuées, doivent être capables de couper des courants capacitifs jusque et y compris le pouvoir de coupure et le pouvoir de fermeture assignés de courants capacitifs à un niveau de tension jusque et y compris la tension spécifiée (voir 6.111.7). Cela est démontré lorsque les disjoncteurs établissent et coupent les courants capacitifs assignés à la tension d'essai spécifiée.

Il convient de préférence de vérifier les exigences concernant l'établissement et la coupure en triphasé avec des circuits triphasés.

Si les essais sont effectués dans un laboratoire, la tension appliquée, le courant, la tension transitoire de rétablissement et la tension de rétablissement à fréquence industrielle peuvent être obtenus à partir d'une source unique de puissance (essais directs) ou à partir de plusieurs sources de manière à obtenir la totalité du courant, ou sa majeure partie, à partir d'une source, et la TTR, ou sa majeure partie, à partir d'une ou de plusieurs autres sources séparées (essais synthétiques).

Si, du fait des limitations des installations d'essais, les caractéristiques de court-circuit du disjoncteur ne peuvent pas être vérifiées comme indiqué ci-dessus, plusieurs méthodes utilisant les méthodes d'essais directs ou synthétiques peuvent être employées seules ou combinées, en fonction du type de disjoncteur:

- a) essais unipolaires (voir 6.102.4.1);

- b) essais sur éléments séparés (voir 6.102.4.2);
- c) essais en plusieurs parties (voir 6.102.4.3);

La durée de manœuvre de certains disjoncteurs peut varier lorsque la valeur de la tension d'alimentation des bobines est la valeur minimale spécifiée en 5.8 de l'IEC 62271-1, alors que les durées de manœuvre sont raisonnablement constantes à leurs tensions d'alimentation assignées. La réalisation d'une séquence d'essais avec des durées d'arc appropriées peut s'avérer difficile dans ce type de cas, notamment lorsque des pas de 18 degrés électriques sont nécessaires pour vérifier la fenêtre de durée d'arc. De plus, la dispersion de la durée de fermeture peut empêcher toute possibilité de réaliser l'essai d'établissement avec le pouvoir d'établissement assigné en court-circuit.

Pour les disjoncteurs dont l'opération des bobines n'altère pas les caractéristiques de déplacement des contacts, il est admis d'augmenter leur tension d'alimentation de la valeur minimale à une valeur égale à 110 % de la tension d'alimentation assignée. Le rapport d'essai doit inclure les manœuvres à vide aux tensions d'alimentation minimale et assignée afin d'indiquer que les caractéristiques de déplacement des contacts ne sont pas altérées par l'augmentation de la tension des bobines.

Au moins une manœuvre d'établissement et de coupure doit être réalisée pour la séquence d'essais T100s avec une tension d'alimentation minimale afin de démontrer la capacité du disjoncteur à fonctionner correctement jusqu'à son courant de court-circuit assigné dans des conditions de tension de commande minimales.

#### **6.102.4.1 Essais unipolaires d'un pôle de disjoncteur tripolaire**

*Ajouter, à la fin du paragraphe, le nouvel alinéa suivant:*

Lorsqu'un disjoncteur est soumis à l'essai à 50 Hz et 60 Hz, il est seulement nécessaire d'effectuer les essais de vérification à 50 Hz ou 60 Hz, à condition que les deux conditions suivantes soient satisfaites:

- la durée d'arc pour la coupure doit être la plus longue durée d'arc prévue pour le dernier pôle qui coupe à 50 Hz;
- lors de la manœuvre d'établissement avec un courant asymétrique, le pouvoir d'établissement assigné en court-circuit pour 60 Hz doit être atteint.

#### **6.102.4.2.2 Répartition de la tension**

*Remplacer l'alinéa au-dessous de la NOTE 2 par l'alinéa suivant:*

Lorsque des essais de défaut proche en ligne sont effectués à l'aide de la méthode d'essai sur éléments séparés, la TTR du côté alimentation et du côté ligne doit être déterminée au moyen d'un facteur unique de répartition de la tension, correspondant à la répartition de la tension de la TTR du côté ligne.

#### **6.102.4.3 Essais en plusieurs parties**

*Remplacer le texte existant par ce qui suit:*

S'il n'est pas possible de répondre simultanément à toutes les exigences de la tension de rétablissement pour une séquence d'essais donnée, l'essai peut être effectué en deux parties successives, par exemple tel que présenté à la Figure 43.

Dans le circuit d'essai utilisé pour la première partie, la partie initiale de la TTR ne doit pas traverser le segment de droite définissant le temps de retard et doit être conforme au tracé de référence spécifié jusqu'à la tension  $u_1$  et le temps  $t_1$ .

Dans le circuit d'essai utilisé pour la seconde partie, la tension  $u_c$  et le temps  $t_2$  doivent être atteints.

Des essais en plusieurs parties peuvent également être effectués afin d'obtenir la tension de rétablissement à fréquence industrielle de  $\frac{U_r}{\sqrt{3}}$  pour un défaut aux bornes après un demi-cycle à la fréquence assignée au cours des essais en monophasé effectués en remplacement des essais triphasés selon les spécifications de 6.104.7 b).

Le nombre d'essais pour chacune des parties doit être le même que celui exigé pour la séquence d'essais et les durées d'arc pour chacune des parties doivent être conformes aux exigences de 6.102.10. Les durées d'arc des essais séparés formant une partie de l'essai en plusieurs parties doivent être les mêmes avec une tolérance de  $\pm 1$  ms. De plus, si la durée d'arc minimale dans une des parties diffère de celle établie dans l'autre partie de plus de 1 ms, alors la durée d'arc maximale associée à la plus longue des deux durées d'arc minimales doit être utilisée pour les deux parties.

Lorsque des essais en plusieurs parties sont utilisés pour répondre séparément aux exigences de la TTR et de la tension de rétablissement à fréquence industrielle, il n'est pas nécessaire de déterminer la durée d'arc minimale lors des essais avec la tension de rétablissement à fréquence industrielle. Les durées d'arc doivent être calculées sur la base de la durée d'arc minimale obtenue lors des essais avec la TTR.

Le disjoncteur peut être remis en état entre les parties de la procédure d'essais en plusieurs parties selon les exigences de 6.102.9.5.

Dans des cas exceptionnels, il peut être nécessaire d'effectuer l'essai avec plus de deux parties. Dans ces cas, les principes évoqués ci-dessus doivent être appliqués.

#### **6.102.6 Manœuvres à vide avant les essais**

*Remplacer le texte existant par ce qui suit:*

Avant d'entreprendre les essais d'établissement, de coupure et de manœuvre, des manœuvres C et O doivent être effectuées et les caractéristiques mécaniques doivent être enregistrées. Les caractéristiques telles que les durées de fermeture et d'ouverture doivent être enregistrées. Pour ces manœuvres à vide, les conditions données en 6.101.1.1 s'appliquent. Des manœuvres à vide supplémentaires peuvent être nécessaires (voir également 6.102.3.1).

De plus, il doit être démontré que le comportement mécanique du disjoncteur en essai est conforme aux caractéristiques de déplacement mécanique de référence exigées en 6.101.1.1. Après un changement de contacts ou tout type de maintenance, ces caractéristiques de déplacement mécanique doivent être confirmées à nouveau en répétant ces essais à vide.

Dans le cas d'un disjoncteur muni d'un déclencheur sous courant de fermeture, il doit être démontré que celui-ci ne fonctionne pas au cours des essais à vide.

La pression du gaz comprimé pour la coupure doit être réglée à la même valeur que celle exigée pour la séquence d'essais à effectuer.

Dans le cas de disjoncteurs à commande électrique ou à ressorts, les manœuvres doivent être faites en alimentant le solénoïde de fermeture ou les déclencheurs shunt de fermeture à 100 % et 85 % de la tension d'alimentation assignée du dispositif de fermeture, et les déclencheurs shunt d'ouverture à 100 % et 85 % de la tension d'alimentation assignée dans le cas de courant alternatif ou à 100 % et 70 % de la tension d'alimentation assignée dans le cas de courant continu.

### 6.102.7 Mécanismes d'entraînements différents

*Remplacer le texte existant par ce qui suit:*

Dans le présent paragraphe, il est considéré qu'une version du disjoncteur utilisant un mécanisme d'entraînement original est entièrement soumise aux essais de type, conformément à la présente norme; cette version est désignée par le disjoncteur entièrement soumis aux essais. Les autres versions, différant dans les mécanismes d'entraînement (voir définition en 3.5.124), sont désignées par des disjoncteurs avec des mécanismes d'entraînement alternatifs.

Dans le cas d'un disjoncteur comportant des mécanismes d'entraînement alternatifs, la répétition des séquences d'essais T100s et T100a (si exigées en c) ci-dessous) est exigée uniquement pour la démonstration des pouvoirs d'établissement, de coupure et de manœuvre.

Par conséquent, les essais à effectuer sur le disjoncteur comportant les mécanismes d'entraînement alternatifs sont les suivants:

- a) les caractéristiques mécaniques doivent être enregistrées et comparées au disjoncteur entièrement soumis aux essais conformément à 6.101.1.1 et satisfaire aux exigences données à l'Annexe N;
- b) la séquence d'essais T100s doit être réalisée. De plus, les caractéristiques mécaniques au cours des manœuvres de coupure avec la durée d'arc la plus longue doivent être comparées au disjoncteur entièrement soumis aux essais selon la méthode spécifiée en 6.101.1.1 et satisfaire aux exigences données à l'Annexe N;
- c) dans le cas particulier pour lequel la durée minimale de coupure (voir 3.7.159) est plus courte, la séquence d'essais T100a doit être réalisée.

Si les exigences a), b) et c) sont satisfaites, les caractéristiques mécaniques de référence du disjoncteur entièrement soumis aux essais doivent aussi s'appliquer aux disjoncteurs comportant des mécanismes d'entraînement alternatifs.

### 6.102.8 Comportement du disjoncteur pendant les essais

*Ajouter l'alinéa suivant juste avant l'alinéa commençant par "Les décharges disruptives non maintenues (NSDD; en anglais non-sustained disruptive discharges) peuvent apparaître..."*

Le rétablissement du courant à fréquence industrielle dans un pôle quelconque plus d'un cycle après l'interruption du court-circuit dans l'ensemble des pôles est un échec.

#### 6.102.9.2 État après une séquence d'essais de court-circuit

*Remplacer le premier alinéa par ce qui suit:*

Après chaque séquence d'essais de court-circuit, le disjoncteur doit être capable d'établir et de couper son courant assigné en service continu sous sa tension assignée, alors que ses possibilités d'établissement et de coupure en court-circuit peuvent être réduites.

Après la séquence d'essais  $L_{90}$  une vérification d'état selon 6.2.11 doit être effectuée afin de vérifier la tenue en tension du disjoncteur. Si aucune caractéristique de défaut proche en ligne n'est assignée, la vérification d'état doit être effectuée après la séquence d'essais T100s comme suit:

- dans le cas d'un essai en monophasé, la vérification d'état doit être effectuée sur le pôle soumis à l'essai;
- dans le cas d'essais en triphasé, la vérification d'état doit être effectuée sur le pôle qui était soumis à la durée d'arc maximale avec une alternance rallongée;

- les bornes auxquelles aucune tension d'essai n'est appliquée doivent être mises à la terre pendant la vérification d'état.

*Remplacer la première phrase et la deuxième phrase du deuxième alinéa par ce qui suit:*

Si les éléments de coupure sont placés dans un fluide isolant avec des caractéristiques différentes et autres que l'air à la pression atmosphérique, qui peut également soutenir les tensions d'essai lors du remplacement du fluide d'extinction de l'arc original (par exemple élément de coupure à vide dans une enveloppe remplie de SF<sub>6</sub>), l'essai de contrôle de l'état comme exigé en 6.2.11 peut ne pas être adéquat pour vérifier l'intégrité du dispositif. Dans de tels cas, des essais de coupure de court-circuit dans un circuit qui fournit au moins 10 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit et au moins 50 % de la tension assignée doivent être effectués en complément.

*Remplacer les deux tirets par ce qui suit:*

- s'il est effectué en triphasé dans un circuit à neutre directement ou effectivement à la terre, une manœuvre d'ouverture doit être réalisée avec à la fois le point neutre du côté alimentation et le point de court-circuit mis à la terre;
- s'il est effectué en triphasé dans un circuit à neutre non effectivement à la terre, trois manœuvres d'ouverture doivent être réalisées. Les conditions du premier pôle qui coupe doivent être démontrées pour chaque pôle du disjoncteur;
- s'il est effectué en monophasé, une ouverture doit être réalisée. L'essai doit être répété sur chaque pôle.

#### **6.102.9.3 État après une série d'essais de court-circuit**

*Remplacer le premier alinéa par ce qui suit:*

Pour vérifier le fonctionnement du disjoncteur après une série d'essais de court-circuit, la séquence de manœuvres à vide de 6.102.6 doit être répétée à l'issue de la série complète d'essais de court-circuit ou d'établissement et de coupure. Ces essais à vide doivent être comparés avec les manœuvres correspondantes effectuées suivant 6.102.6. Les exigences de 6.101.1.1 et de l'Annexe N doivent être satisfaites. La fermeture et l'accrochage mécanique du disjoncteur doivent s'effectuer de manière satisfaisante.

#### **6.102.9.4 État après une série d'essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs**

*Ajouter le nouvel alinéa suivant avant le premier alinéa existant:*

Pour vérifier le fonctionnement du disjoncteur après une série d'essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs, la séquence de manœuvres à vide de 6.102.6 doit être répétée à l'issue de la série complète d'essais de court-circuit ou d'établissement et de coupure. Ces essais à vide doivent être comparés avec les manœuvres correspondantes effectuées suivant 6.102.6. Les exigences de 6.101.1.1 et de l'Annexe N doivent être satisfaites. La fermeture et l'accrochage mécanique du disjoncteur doivent s'effectuer de manière satisfaisante.

#### **6.102.10 Démonstration des durées d'arc**

*Remplacer le paragraphe existant modifié par l'Amendement 1, y compris les tableaux et figures jusqu'au Tableau 23 inclus, par ce qui suit:*

#### **6.102.10 Démonstration des durées d'arc**

##### **6.102.10.1 Généralités**

Les exigences décrites dans le présent paragraphe servent à l'ajustement des durées d'arc présumées. Les durées d'arc réelles peuvent être différentes des durées d'arc présumées.

Les essais sont valables tant que les durées d'arc obtenues sont conformes aux tolérances indiquées à l'Annexe B.

Les essais de défaut aux bornes T100a en 6.102.10.2.2 et 6.102.10.3.3 se composent de trois manœuvres de coupure valables indépendantes de la séquence de manœuvres assignée.

NOTE Les durées d'arc spécifiées dans le présent paragraphe couvrent de manière adéquate l'effet de la non-simultanéité non intentionnelle des pôles du disjoncteur.

Les symboles suivants sont utilisés dans l'ensemble du présent paragraphe:

$T$  est la durée d'un cycle à la fréquence assignée;

$t_{a100s}$   $t_{a100s}$  est la valeur minimale des durées d'arc des premiers pôles qui coupent pendant les manœuvres de coupure de la séquence d'essais T100s dans le cas d'un essai triphasé;

dans le cas d'un essai monophasé,  $t_{a100s}$  est la durée d'arc minimale de la séquence d'essais de défaut aux bornes T100s;

$d\alpha$   $=18^\circ$ ;

$\tau$  est la constante de temps de la composante apériodique du pouvoir de coupure assigné en court-circuit;

$\hat{I}$  est la valeur unitaire (p.u.) du courant de crête du premier pôle qui coupe, du dernier pôle qui coupe pour  $k_{pp} = 1,5$  et du deuxième pôle qui coupe pour  $k_{pp} = 1,3$  ou  $1,2$  par rapport à la valeur de crête du courant de court-circuit symétrique;

$\Delta t_1$  est la durée de la grande alternance du premier pôle qui coupe;

$\Delta t_2$  est la durée de la grande alternance rallongée du dernier pôle qui coupe pour  $k_{pp} = 1,5$ ;

$\Delta t_3$  est la durée de la grande alternance rallongée du deuxième pôle qui coupe pour  $k_{pp} = 1,3$  ou  $1,2$ ;

$\Delta t_{a1}$  est l'intervalle de temps entre l'instant de coupure du courant dans le premier pôle qui coupe après une grande alternance avec l'asymétrie exigée et l'instant du premier passage par zéro de courant précédent;

$\Delta t_{a2}$  est l'intervalle de temps entre l'instant de coupure du courant dans le dernier pôle qui coupe après une grande alternance rallongée avec l'asymétrie exigée pour  $k_{pp} = 1,5$  et l'instant du deuxième passage par zéro de courant précédent;

$\Delta t_{a3}$  est l'intervalle de temps entre l'instant de coupure du courant dans le deuxième pôle qui coupe après une grande alternance rallongée avec l'asymétrie exigée pour  $k_{pp} = 1,3$  ou  $1,2$  et l'instant du deuxième passage par zéro de courant précédent;

Pour une explication de  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ ,  $\Delta t_3$ ,  $\Delta t_{a1}$ ,  $\Delta t_{a2}$  et  $\Delta t_{a3}$  voir Figure 60.

## 6.102.10.2 Essais triphasés

### 6.102.10.2.1 Séquence d'essais T10, T30, T60, T100s, T100s(b)

Pour ces essais, l'ordre d'ouverture doit être avancé d'environ 40 degrés électriques ( $40^\circ$ ) entre chaque manœuvre d'ouverture. Pour la séquence T100s(b), voir la note de 6.106.

Une représentation graphique d'un exemple des trois manœuvres valables de coupure pour un facteur de premier pôle qui coupe égal à 1,5 est donnée à la Figure 29 et pour un facteur de premier pôle qui coupe égal à 1,3 ou 1,2 à la Figure 30.

### 6.102.10.2.2 Séquence d'essais T100a

L'instant d'établissement du court-circuit doit être modifié entre chaque essai afin de transférer successivement sur chaque phase les critères d'asymétrie exigés.

Les manœuvres de coupure sont valables si le courant présumé répond aux critères d'asymétrie suivants:

- le courant crête de court-circuit  $\hat{I}$  au cours de la dernière alternance précédant la coupure est compris entre 90 % et 110 % de la valeur exigée et
- la durée de l'alternance du courant de court-circuit  $\Delta t$  précédant la coupure est comprise entre 90 % et 110 % de la valeur exigée.

Les Tableaux 39 et 40 donnent les valeurs présumées exigées du courant crête de court-circuit et de la durée d'alternance que la dernière grande alternance précédant la coupure doit atteindre. Dans ces tableaux, les facteurs  $k_{pp}$  de 1,3 et 1,2 sont combinés dans la mesure où les exigences applicables aux durées d'arc sont quasiment identiques.

Lorsque les paramètres de la dernière alternance de courant sont conformes aux tolérances spécifiées, les écarts observés sur la composante apériodique au passage par zéro de courant, le rapport  $di/dt$  associé et la valeur de crête suivante de la TTR sont compris dans les limites acceptables comparés à ceux calculés avec les valeurs assignées.

L'intention est d'obtenir trois essais valables et la séquence est satisfaisante si les conditions suivantes sont satisfaites. Il n'y a pas d'ordre préférentiel pour démontrer les trois essais valables.

- a) Une manœuvre par laquelle l'extinction de l'arc se produit dans le premier pôle qui coupe à la fin d'une grande alternance de courant dans la phase avec les critères d'asymétrie exigés et avec la plus longue durée d'arc possible.

La plus longue durée d'arc possible  $t_{arc1}$  pour le premier pôle qui coupe est atteinte lorsque la condition suivante est satisfaite:

$$t_{arc1} = (t_{a100s} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}) + \Delta t_1$$

- b) Une manœuvre par laquelle l'extinction de l'arc se produit à la fin d'une grande alternance rallongée de courant dans le dernier pôle qui coupe ou dans le deuxième pôle qui coupe avec les critères d'asymétrie exigés et avec la plus longue durée d'arc possible.

- La plus longue durée d'arc possible  $t_{arc2}$  pour le dernier pôle qui coupe pour des disjoncteurs ayant la valeur assignée  $k_{pp} = 1,5$  est atteinte lorsque la condition suivante est satisfaite:

$$t_{arc2} = (t_{a100s} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}) + \Delta t_{a2}$$

- La plus longue durée d'arc possible  $t_{arc2}$  pour le deuxième pôle qui coupe pour des disjoncteurs ayant la valeur assignée  $k_{pp} = 1,3$  ou 1,2 est atteinte lorsque la condition suivante est satisfaite:

$$t_{arc3} = (t_{a100s} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}) + \Delta t_{a3}$$

- c) Si les conditions exigées en a) et b) sont remplies, lors de la troisième manœuvre, l'extinction de l'arc peut se produire à la fin

- d'une grande alternance de courant pour les conditions du premier pôle qui coupe, ou
- d'une grande alternance rallongée de courant pour les conditions du dernier pôle qui coupe pour des disjoncteurs ayant la valeur assignée  $k_{pp} = 1,5$ , ou
- d'une grande alternance rallongée de courant pour les conditions du deuxième pôle qui coupe pour des disjoncteurs ayant la valeur assignée  $k_{pp} = 1,3$ , ou 1,2.

Aucune exigence supplémentaire n'est applicable aux durées d'arc.

$\Delta t_{a1}$ ,  $\Delta t_{a2}$  et  $\Delta t_{a3}$  sont les paramètres de temps applicables à choisir dans les Tableaux 39 et 40.

Les conditions de l'interruption du courant dans la séquence d'essais T100a pour le dernier pôle qui coupe pour des disjoncteurs ayant la valeur assignée  $k_{pp} = 1,3$  ou  $1,2$  sont couvertes par les essais de la séquence d'essais T100s.

Certains disjoncteurs ne coupent pas à la fin d'une grande alternance après la durée d'arc exigée. Toutefois, cet essai est valable si le disjoncteur a coupé la petite alternance de courant suivante et s'il est démontré que la durée d'arc la plus grande possible a été obtenue.

Si le comportement du disjoncteur est tel que les conditions exigées en a) et b) ne sont pas remplies, les essais applicables doivent être poursuivis en modifiant l'ouverture du disjoncteur par pas de  $18^\circ$ . Si au cours des essais, les durées d'arc exigées ne sont pas atteintes en raison de durées d'arc minimales différentes de  $t_{a100s}$ , les durées d'arc maximales pouvant être atteintes doivent être démontrées. Le nombre total d'essais est limité à 6 lorsqu'il s'agit de tenter de satisfaire aux exigences mentionnées ci-dessus. La séquence d'essais est valable, quelles que soient les durées d'arc obtenues.

Le disjoncteur peut être remis en état avec des pièces interchangeable ou remplacé par un autre disjoncteur avant les manœuvres additionnelles (voir 6.102.9.5).

Une représentation graphique d'un exemple des trois manœuvres valables de coupure pour un facteur de premier pôle qui coupe  $k_{pp} = 1,5$  est donnée à la Figure 31 et pour un facteur de premier pôle qui coupe  $k_{pp} = 1,3$  ou  $1,2$  à la Figure 32.

**Tableau 39 – Paramètres de la dernière alternance de courant dans des essais en triphasé et en monophasé effectués en remplacement des conditions en triphasé pour la séquence d'essais de court-circuit T100a – Essais pour une manœuvre à 50 Hz**

| $\tau$<br>ms | Durée minimale<br>de coupure<br>ms | $\hat{I}$<br>p.u. | $k_{pp} = 1,5, 1,3 \text{ ou } 1,2$ |                       | $k_{pp} = 1,5$     |                       | $k_{pp} = 1,3 \text{ ou } 1,2$ |                       |
|--------------|------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
|              |                                    |                   | $\Delta t_1$<br>ms                  | $\Delta t_{a1}$<br>ms | $\Delta t_2$<br>ms | $\Delta t_{a2}$<br>ms | $\Delta t_3$<br>ms             | $\Delta t_{a3}$<br>ms |
| 45           | $10,0 < t \leq 27,0$               | 1,52              | 13,6                                | 4,1                   | 15,0               | 10,6                  | 14,4                           | 10,0                  |
|              | $27,0 < t \leq 47,5$               | 1,33              | 12,2                                | 3,8                   | 13,7               | 9,8                   | 13,1                           | 9,1                   |
|              | $47,5 < t \leq 68,0$               | 1,21              | 11,4                                | 3,7                   | 12,9               | 9,2                   | 12,3                           | 8,6                   |
| 60           | $10,0 < t \leq 27,0$               | 1,61              | 14,2                                | 4,3                   | 15,6               | 11,1                  | 15,1                           | 10,5                  |
|              | $27,0 < t \leq 47,5$               | 1,44              | 12,9                                | 4,0                   | 14,3               | 10,2                  | 13,8                           | 9,6                   |
|              | $47,5 < t \leq 67,5$               | 1,31              | 12,1                                | 3,8                   | 13,6               | 9,7                   | 12,9                           | 9,1                   |
|              | $67,5 < t \leq 88,0$               | 1,22              | 11,4                                | 3,7                   | 13,0               | 9,3                   | 12,3                           | 8,6                   |
| 75           | $10,0 < t \leq 27,0$               | 1,67              | 14,8                                | 4,4                   | 16,1               | 11,3                  | 15,6                           | 10,8                  |
|              | $27,0 < t \leq 47,5$               | 1,51              | 13,4                                | 4,2                   | 14,9               | 10,6                  | 14,3                           | 10,0                  |
|              | $47,5 < t \leq 67,5$               | 1,39              | 12,6                                | 3,9                   | 14,1               | 10,1                  | 13,4                           | 9,4                   |
|              | $67,5 < t \leq 87,5$               | 1,30              | 12,0                                | 3,8                   | 13,5               | 9,7                   | 12,8                           | 9,0                   |
|              | $87,5 < t \leq 108,0$              | 1,23              | 11,5                                | 3,7                   | 13,1               | 9,3                   | 12,4                           | 8,7                   |
| 120          | $10,0 < t \leq 27,0$               | 1,78              | 15,7                                | 4,8                   | 17,0               | 11,9                  | 16,6                           | 11,4                  |
|              | $27,0 < t \leq 47,0$               | 1,66              | 14,6                                | 4,4                   | 15,9               | 11,3                  | 15,3                           | 10,8                  |
|              | $47,0 < t \leq 67,5$               | 1,56              | 13,8                                | 4,3                   | 15,2               | 10,8                  | 14,6                           | 10,3                  |
|              | $67,5 < t \leq 87,5$               | 1,47              | 13,2                                | 4,1                   | 14,6               | 10,4                  | 14,0                           | 9,8                   |
|              | $87,5 < t \leq 108,0$              | 1,40              | 12,6                                | 4,0                   | 14,1               | 10,1                  | 13,5                           | 9,5                   |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-100:2008/AMD2:2017

**Tableau 40 – Paramètres de la dernière alternance de courant dans des essais en triphasé et en monophasé effectués en remplacement des conditions en triphasé pour la séquence d'essais de court-circuit T100a – Essais pour une manœuvre à 60 Hz**

| $\tau$<br>ms | Durée minimale<br>de coupure<br>ms | $\hat{I}$<br>p.u. | $k_{pp} = 1,5, 1,3 \text{ ou } 1,2$ |                       | $k_{pp} = 1,5$     |                       | $k_{pp} = 1,3 \text{ ou } 1,2$ |                       |
|--------------|------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
|              |                                    |                   | $\Delta t_1$<br>ms                  | $\Delta t_{a1}$<br>ms | $\Delta t_2$<br>ms | $\Delta t_{a2}$<br>ms | $\Delta t_3$<br>ms             | $\Delta t_{a3}$<br>ms |
| 45           | $8,5 < t \leq 22,5$                | 1,58              | 11,6                                | 3,5                   | 12,8               | 9,1                   | 12,4                           | 8,6                   |
|              | $22,5 < t \leq 39,5$               | 1,40              | 10,5                                | 3,3                   | 11,8               | 8,4                   | 11,2                           | 7,9                   |
|              | $39,5 < t \leq 56,5$               | 1,27              | 9,8                                 | 3,1                   | 11,1               | 7,9                   | 10,6                           | 7,4                   |
|              | $56,5 < t \leq 73,0$               | 1,19              | 9,3                                 | 3,0                   | 10,7               | 7,6                   | 10,1                           | 7,1                   |
| 60           | $8,5 < t \leq 22,5$                | 1,66              | 12,2                                | 3,7                   | 13,3               | 9,4                   | 12,9                           | 9,0                   |
|              | $22,5 < t \leq 39,5$               | 1,50              | 11,1                                | 3,4                   | 12,4               | 8,8                   | 11,8                           | 8,3                   |
|              | $39,5 < t \leq 56,5$               | 1,38              | 10,4                                | 3,3                   | 11,7               | 8,3                   | 11,2                           | 7,8                   |
|              | $56,5 < t \leq 73,0$               | 1,29              | 9,9                                 | 3,1                   | 11,2               | 8,0                   | 10,6                           | 7,5                   |
|              | $73,0 < t \leq 90,0$               | 1,22              | 9,5                                 | 3,1                   | 10,8               | 7,7                   | 10,2                           | 7,2                   |
| 75           | $8,5 < t \leq 22,5$                | 1,72              | 12,6                                | 3,8                   | 13,7               | 9,6                   | 13,3                           | 9,2                   |
|              | $22,5 < t \leq 39,5$               | 1,57              | 11,6                                | 3,6                   | 12,8               | 9,1                   | 12,3                           | 8,6                   |
|              | $39,5 < t \leq 56,0$               | 1,46              | 10,9                                | 3,4                   | 12,1               | 8,6                   | 11,6                           | 8,1                   |
|              | $56,0 < t \leq 73,0$               | 1,37              | 10,3                                | 3,2                   | 11,6               | 8,3                   | 11,1                           | 7,8                   |
|              | $73,0 < t \leq 90,0$               | 1,30              | 9,9                                 | 3,1                   | 11,2               | 8,0                   | 10,7                           | 7,5                   |
|              | $90,0 < t \leq 106,5$              | 1,24              | 9,6                                 | 3,1                   | 10,9               | 7,8                   | 10,4                           | 7,3                   |
| 120          | $8,5 < t \leq 22,5$                | 1,81              | 13,4                                | 4,1                   | 14,4               | 10,1                  | 14,1                           | 9,7                   |
|              | $22,5 < t \leq 39,0$               | 1,71              | 12,5                                | 3,8                   | 13,6               | 9,6                   | 13,2                           | 9,2                   |
|              | $39,0 < t \leq 56,0$               | 1,62              | 11,8                                | 3,7                   | 13,0               | 9,3                   | 12,5                           | 8,8                   |
|              | $56,0 < t \leq 73,0$               | 1,54              | 11,3                                | 3,5                   | 12,5               | 8,9                   | 12,0                           | 8,5                   |
|              | $73,0 < t \leq 89,5$               | 1,47              | 10,9                                | 3,4                   | 12,1               | 8,7                   | 11,6                           | 8,1                   |
|              | $89,5 < t \leq 106,5$              | 1,41              | 10,6                                | 3,3                   | 11,8               | 8,4                   | 11,3                           | 7,9                   |

#### 6.102.10.2.3 Essais pour couvrir les conditions de $k_{pp} = 1,3$ et $k_{pp} = 1,5$

Afin de couvrir les performances pour  $k_{pp} = 1,3$  et  $k_{pp} = 1,5$ , il convient d'effectuer deux séries d'essais distinctes, chacune avec sa propre mise à la terre des circuits d'essai, comme cela est décrit en 6.103.3.

Si une série complète de séquences d'essais démontrant les performances du disjoncteur pour  $k_{pp} = 1,5$  a déjà été effectuée, il n'est pas nécessaire de répéter l'ensemble des séquences d'essais de défauts aux bornes spécifiées par la présente norme pour démontrer les performances du disjoncteur pour  $k_{pp} = 1,3$ . Dans ce cas, les séquences d'essais T100s et T100a doivent être répétées avec un circuit d'essai simulant la condition de mise à la terre d'un réseau à neutre effectivement à la terre ( $k_{pp} = 1,3$ , voir 6.103.3).

La répétition des séquences d'essais T100s et T100a avec un circuit triphasé pour un réseau à neutre effectivement à la terre peut, en variante, être remplacée par les essais en monophasé complémentaires spécifiés ci-dessous. Dans ce cas, l'essai de vérification triphasée selon 6.102.4.1 n'est pas exigé. Des essais en monophasé sont admis pour tous les types de disjoncteurs, à l'exception des disjoncteurs sous enveloppe métallique ayant les trois phases dans une même enveloppe, lorsqu'il existe une interaction dynamique directe des gaz entre les phases, conformément à 6.102.3.2 et O.4.1.

Les essais doivent être effectués avec les paramètres suivants:

- un premier essai doit démontrer la performance du deuxième pôle qui coupe dans des conditions de défauts symétriques dans un réseau à neutre effectivement à la terre. La durée d'arc doit être fixée comme suit:

$$t_{\text{arc}} = t_{a100s} + T \times \frac{119^\circ}{360^\circ}$$

Les paramètres de la TTR doivent être réglés conformément au Tableau 41.

La tension d'essai est de  $1,26 \times \frac{U_r}{\sqrt{3}}$  et peut être ramenée à  $U_r/\sqrt{3}$  après un demi-cycle à la fréquence assignée après l'interruption du courant.

**Tableau 41 – Paramètres de la TTR pour les essais en monophasé effectués en remplacement des essais triphasés pour démontrer la coupure du deuxième pôle qui coupe pour  $k_{pp} = 1,3$**

| $k_{pp}$                                                                                              | Tension assignée                                                 |                             |                                                    |                             |                                                                  |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------|------------|
|                                                                                                       | $U_r < 100 \text{ kV}$<br>TTR à 2 paramètres                     |                             | $U_r \geq 100 \text{ kV}$<br>TTR à 4 paramètres    |                             |                                                                  |            |
|                                                                                                       | $u_{c,sp}$                                                       | $t_{3,sp}$                  | $u_{1,sp}$                                         | $t_{1,sp}$                  | $u_{c,sp}$                                                       | $t_{2,sp}$ |
| <b>1,3</b>                                                                                            | $1,26 \times k_{af} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_r$ | $t_3 \times u_{c,sp} / u_c$ | $0,95 \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_r$ | $t_1 \times u_{1,sp} / u_1$ | $1,26 \times k_{af} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_r$ | a          |
| <sup>a</sup> $4 \times t_{1,sp}$ pour les tensions assignées comprises entre 100 kV et 800 kV inclus. |                                                                  |                             |                                                    |                             |                                                                  |            |

- un deuxième essai doit démontrer la performance du troisième pôle qui coupe dans des conditions de défauts symétriques dans un réseau à neutre effectivement à la terre. La durée d'arc doit être fixée comme suit:

$$t_{\text{arc}} = t_{a100s} + T \times \frac{162^\circ}{360^\circ}$$

Les paramètres de la TTR doivent être réglés conformément au Tableau 42:

**Tableau 42 – Paramètres de la TTR pour les essais en monophasé effectués en remplacement des essais en triphasé pour démontrer la coupure du troisième pôle qui coupe pour  $k_{pp} = 1,3$**

| $k_{pp}$                                                                                                                                                                    | Tension assignée                                     |                             |                                                    |                             |                                                      |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------|------------|
|                                                                                                                                                                             | $U_r < 100 \text{ kV}$<br>TTR à 2 paramètres         |                             | $U_r \geq 100 \text{ kV}$<br>TTR à 4 paramètres    |                             |                                                      |            |
|                                                                                                                                                                             | $u_{c,sp}$                                           | $t_{3,sp}$                  | $u_{1,sp}$                                         | $t_{1,sp}$                  | $u_{c,sp}$                                           | $t_{2,sp}$ |
| <b>1,3</b>                                                                                                                                                                  | $k_{af} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_r$ | $t_3 \times u_{c,sp} / u_c$ | $0,75 \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_r$ | $t_1 \times u_{1,sp} / u_1$ | $k_{af} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_r$ | a          |
| <sup>a</sup> $4 \times t_{1,sp}$ pour les tensions assignées comprises entre 100 kV et 800 kV inclus, $3 \times t_{1,sp}$ pour les tensions assignées supérieures à 800 kV. |                                                      |                             |                                                    |                             |                                                      |            |

Les essais en monophasé avec des courants symétriques peuvent être combinés en utilisant la valeur de crête de la TTR présumée exigée pour le deuxième pôle qui coupe et la durée d'arc spécifiée pour le troisième pôle qui coupe.

- un essai de défaut en monophasé supplémentaire avec un courant asymétrique qui remplit les critères d'asymétrie définis en 6.102.10.2.2 doit être effectué. Cet essai supplémentaire démontre la performance du deuxième et du troisième pôles qui coupent avec un courant de défaut asymétrique sur la grande alternance rallongée.

La tension d'essai à appliquer est de  $1,26 \times \frac{U_r}{\sqrt{3}}$  pour la vérification de  $k_{pp} = 1,3$ ;

et peut être ramenée à  $U_r/\sqrt{3}$  après un quart de cycle à la fréquence assignée après l'interruption du courant.

Lorsque les paramètres de la dernière alternance de courant sont conformes aux tolérances spécifiées, les écarts observés sur la composante apériodique au passage par zéro de courant, le rapport  $di/dt$  associé et la valeur de crête suivante de la TTR sont compris dans les limites acceptables comparés à ceux calculés avec les valeurs assignées.

La durée d'arc doit être la durée d'arc maximale calculée pour une condition triphasée en tenant compte de la durée d'arc minimale obtenue pendant la séquence d'essais T100s réalisée pour  $k_{pp} = 1,5$ .

$$t_{\text{arc}} = (t_{a100s} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}) + \Delta t_{a3}$$

où

$\Delta t_{a3}$  est le paramètre de temps applicable à choisir dans les Tableaux 39 et 40.

### 6.102.10.3 Essais en monophasé effectués en remplacement des conditions en triphasé, des essais en discordance de phases et des essais de défaut proche en ligne

#### 6.102.10.3.1 Généralités

La procédure utilisée pour démontrer la durée d'arc minimale peut conduire à un essai avec la durée d'arc maximale ou avec une durée d'arc plus longue que la durée d'arc maximale. L'objet des essais en monophasé suivants est de satisfaire aux conditions du premier pôle qui coupe, du deuxième pôle qui coupe et du dernier pôle qui coupe pour chaque séquence d'essais avec un seul circuit d'essai.

Les procédures suivantes sont applicables si toutes les manœuvres de la séquence de manœuvres assignée satisfont aux exigences de 5.101.

#### 6.102.10.3.2 Séquences d'essais T10, T30, T60, T100s et T100s(b), OP1 et OP2, L<sub>90</sub>, L<sub>75</sub> et L<sub>60</sub>

Une manœuvre de coupure valable doit démontrer la coupure avec une durée d'arc la plus courte possible. La durée d'arc résultante est définie comme la durée d'arc minimale ( $t_{\text{arc min}}$ ). Elle est obtenue lorsqu'un retard supplémentaire à la séparation des contacts par rapport à la forme d'onde de courant conduit à une coupure au zéro de courant suivant. Cette durée d'arc minimale est obtenue en modifiant le réglage de l'ordre d'ouverture par pas de  $18^\circ$ .

Une manœuvre de coupure valable supplémentaire doit démontrer la coupure avec la durée d'arc maximale. La durée d'arc maximale exigée est désignée par  $t_{\text{arc max}}$  et elle est définie comme suit:

- pour les disjoncteurs ayant une valeur assignée  $k_{pp} = 1,5$ , par

$$t_{\text{arc max}} = t_{\text{arc min}} + T \times \frac{132^\circ}{360^\circ};$$

- pour les disjoncteurs ayant une valeur assignée  $k_{pp} = 1,3$  ou  $1,2$ , ainsi que les essais de défaut proche en ligne, par

$$t_{\text{arc max}} = t_{\text{arc min}} + T \times \frac{162^\circ}{360^\circ};$$

où

$t_{\text{arc min}}$  est la durée d'arc minimale obtenue à partir de la première manœuvre valable;

Une manœuvre de coupure valable supplémentaire doit démontrer la coupure avec une durée d'arc approximativement égale à la valeur moyenne de la durée d'arc minimale et de la durée d'arc maximale exigée. Cette durée d'arc est définie comme étant la durée d'arc moyenne ( $t_{\text{arc med}}$ ) et elle est donnée par

$$t_{\text{arc med}} = (t_{\text{arc max}} + t_{\text{arc min}})/2$$

Si le disjoncteur ne coupe pas au passage par zéro de courant prévu avec une durée d'arc moyenne et/ou maximale, mais à un zéro de courant suivant, aucun essai supplémentaire n'est exigé.

Une représentation graphique d'un exemple des trois manœuvres valables de coupure pour un facteur de premier pôle qui coupe égal à 1,5 est donnée à la Figure 33 et pour un facteur de premier pôle qui coupe égal à 1,3 ou 1,2 à la Figure 34.

### 6.102.10.3.3 Séquence d'essais T100a

Les manœuvres de coupure sont valables si le courant présumé répond aux critères d'asymétrie suivants donnés en 6.102.10.2.2:

Les Tableaux 39 et 40 donnent les valeurs exigées du courant crête de court-circuit et de la durée d'alternance que la dernière alternance précédant la coupure doit atteindre. Tous les essais doivent être effectués avec les paramètres de courant du premier pôle qui coupe.

Une manœuvre de coupure doit démontrer la coupure à la fin de la grande alternance avec une durée d'arc équivalente à la durée d'arc maximale dans les conditions en triphasé  $t_{\text{arc1}}$  du premier pôle qui coupe.

Cette opération est accomplie lorsque la condition suivante est satisfaite:

$$t_{\text{arc1}} = t_{\text{a100s}} + \Delta t_{\text{a1}} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}$$

Une manœuvre de coupure supplémentaire doit démontrer la coupure à la fin de la grande alternance avec une durée d'arc équivalente à la durée d'arc maximale dans les conditions en triphasé

- $t_{\text{arc2}}$  pour le dernier pôle qui coupe des disjoncteurs ayant la valeur assignée  $k_{\text{pp}} = 1,5$

Cette opération est accomplie lorsque la condition suivante est satisfaite:

$$t_{\text{arc2}} = t_{\text{a100s}} + \Delta t_{\text{a2}} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}$$

- $t_{\text{arc3}}$  pour le deuxième pôle qui coupe des disjoncteurs ayant la valeur assignée  $k_{\text{pp}} = 1,3$  ou 1,2.

Cette opération est accomplie lorsque la condition suivante est satisfaite:

$$t_{\text{arc3}} = t_{\text{a100s}} + \Delta t_{\text{a3}} - T \times \frac{d\alpha}{360^\circ}$$

$\Delta t_{a1}$ ,  $\Delta t_{a2}$  et  $\Delta t_{a3}$  sont les paramètres de temps applicables à choisir dans les Tableaux 39 et 40.

Une manœuvre de coupure supplémentaire doit démontrer les conditions de coupure après une grande alternance en tant que premier pôle qui coupe ou après une grande alternance rallongée en tant que dernier pôle qui coupe pour les disjoncteurs ayant la valeur assignée  $k_{pp} = 1,5$  ou après une grande alternance rallongée en tant que deuxième pôle qui coupe pour les disjoncteurs ayant la valeur assignée  $k_{pp} = 1,2$  ou  $1,3$ . Aucune exigence supplémentaire n'est applicable aux durées d'arc.

Si le disjoncteur ne coupe pas après la grande alternance exigée et coupe après la petite alternance suivante, la durée d'arc maximale exigée est prolongée par la durée de cette petite alternance.

Si le comportement d'interruption du disjoncteur est tel que les conditions exigées ne sont pas remplies, les essais applicables doivent être répétés en modifiant l'ouverture du disjoncteur en conséquence. Le nombre total d'essais est limité à 6 lorsqu'il s'agit de tenter de satisfaire aux exigences mentionnées ci-dessus. Après 6 essais, la séquence d'essais est valable, quelles que soient les durées d'arc obtenues.

Le disjoncteur peut être remis en état avec des pièces interchangeables avant les manœuvres additionnelles (voir 6.102.9.5). Un autre spécimen d'essai peut aussi être utilisé pour les manœuvres additionnelles.

Une représentation graphique d'un exemple des trois manœuvres valables de coupure pour  $k_{pp} = 1,5$  est donnée à la Figure 35 et pour  $k_{pp} = 1,3$  et  $1,2$  à la Figure 36.

#### **6.102.10.3.4 Essais combinant les conditions des réseaux à neutre effectivement à la terre et non effectivement à la terre**

Les deux conditions,  $k_{pp} = 1,5$  et  $k_{pp} = 1,3$  peuvent être combinées en une seule série d'essais. La tension transitoire et la tension à fréquence industrielle à utiliser doivent être celles applicables à un réseau à neutre non effectivement à la terre et les durées d'arc doivent être celles applicables à un réseau à neutre effectivement à la terre.

Pour la séquence d'essais T100a, les durées d'arc doivent être celles applicables à un réseau à neutre non effectivement à la terre.

#### **6.102.10.3.5 Séparation des séquences d'essais en séries d'essais en tenant compte de la TTR associée de chaque pôle qui coupe**

Il est admis que les essais en monophasé effectués en remplacement de conditions en triphasé sont plus sévères que les essais en triphasé du fait que la durée d'arc du dernier pôle qui coupe est utilisée avec la TTR présumée du premier pôle qui coupe. Le constructeur peut également décider de diviser chaque séquence d'essais en deux ou trois séries d'essais séparées, chaque série d'essais démontrant une coupure réussie avec les durées d'arc minimale et maximale pour chaque pôle qui coupe avec sa TTR présumée associée. Les multiplicateurs normalisés pour les valeurs présumées de TTR pour les deuxième et troisième pôles qui coupent pour les tensions assignées au-dessus de 72,5 kV sont donnés au Tableau 6. Ils sont applicables pour les séquences d'essais T10, T30, T60, T100s, OP1 et OP2.

La remise en état du disjoncteur est autorisée après trois coupures au minimum et doit être conforme aux exigences de 6.102.9.5.

En supposant que la simultanéité des pôles pendant toutes les manœuvres de la séquence de manœuvres assignée se situe dans les limites de tolérance de 5.101, pour les essais avec courant symétrique, et la fenêtre de coupure pour chaque phase est comprise dans l'intervalle donné dans le Tableau 23, si l'instant de coupure du premier pôle qui coupe avec une durée

d'arc minimale est pris comme référence. Une représentation graphique de la fenêtre de coupure et du facteur de tension  $k_p$ , qui détermine la TTR de chaque pôle, est donnée pour le défaut aux bornes à la Figure 37 et à la Figure 58 pour les systèmes avec un facteur de premier pôle qui coupe égal à 1,2 et 1,3 et à la Figure 38 pour les systèmes avec un facteur de premier pôle qui coupe égal à 1,5.

**Tableau 23 – Fenêtre de coupure pour les essais avec courant symétrique**

| Facteur de premier pôle qui coupe                      | Premier pôle qui coupe<br>° | Deuxième pôle qui coupe<br>° | Troisième pôle qui coupe<br>° |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1,5 (Défaut aux bornes)<br>2,5 (Discordance de phases) | 0 à 42                      | 90 à 132                     | 90 à 132                      |
| 1,3 (Défaut aux bornes)<br>2,0 (Discordance de phases) | 0 à 42                      | 77 à 119                     | 120 à 162                     |
| 1,2 (Défaut aux bornes)<br>2,0 (Discordance de phases) | 0 à 42                      | 71 à 113                     | 120 à 162                     |

#### 6.103.4 Raccordement du circuit d'essai au disjoncteur

Supprimer, dans le premier alinéa, « , en ce qui concerne la tension par rapport à la terre, »

#### 6.104.2.1 Généralités

Remplacer le premier tiret de la liste par ce qui suit:

- établissement à la crête de l'onde de tension (dans la plage comprise entre  $-15^\circ$  et  $+15^\circ$ ), produisant un courant de court-circuit symétrique et le préamorçage le plus long;

Supprimer la NOTE 1, renuméroter la NOTE 2 en NOTE 1 et la NOTE 3 en NOTE 2.

#### 6.104.4 Composante apériodique du courant coupé en court-circuit

Supprimer les deux derniers alinéas.

#### 6.104.5.1 Généralités

Remplacer, dans le quatrième alinéa ajouté par l'Amendement 1, la référence 4.102.2 en 6.104.6.

Ajouter, après le quatrième alinéa ajouté par l'Amendement 1, le nouvel alinéa suivant:

Le cas particulier de disjoncteurs reliés à un transformateur avec une liaison de faible capacité est traité dans l'Annexe M.

Remplacer le cinquième alinéa et le point a) ajoutés par l'Amendement 1, par ce qui suit:

Les paramètres de la TTR sont fonction de la tension assignée ( $U_r$ ), du facteur assigné de premier pôle qui coupe ( $k_{pp}$ ) et du facteur d'amplitude ( $k_{af}$ ). Les valeurs de  $k_{pp}$  et  $k_{af}$  sont indiquées dans les Tableaux 24, 25, 26, 27, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49 et 50. Le facteur de premier pôle qui coupe  $k_{pp}$  est donné au 4.102.

##### a) Pour les tensions assignées inférieures à 100 kV

Une représentation par deux paramètres de la TTR présumée est utilisée pour toutes les séquences d'essais.

- Dans les Tableaux 24 et 43, pour les disjoncteurs de classe S1.

La valeur de crête de la TTR est  $u_c = k_{pp} \times k_{af} \sqrt{(2/3)} \times U_r$  où  $k_{af}$  est égal à 1,4 pour la séquence d'essais T100, 1,5 pour la séquence T60, 1,6 pour la séquence d'essais T30 et 1,7 pour la séquence d'essais T10, 1,25 pour la coupure en discordance de phases.

Le temps  $t_3$  pour la séquence T100 est déduit des Tableaux 24 et 43. Le temps  $t_3$  pour les séquences d'essais T60, T30 et T10 est obtenu en multipliant le temps  $t_3$  pour la séquence d'essais T100 par 0,44 (pour T60), 0,22 (pour T30) et 0,22 (pour T10).

- Dans les Tableaux 25 et 44, pour les disjoncteurs de classe S2.

La valeur de crête de la TTR est  $u_c = k_{pp} \times k_{af} \sqrt{(2/3)} \times U_r$  où  $k_{af}$  est égal à 1,54 pour la séquence d'essais T100 et pour le côté du circuit d'alimentation du défaut proche en ligne, 1,65 pour la séquence T60, 1,74 pour la séquence T30, 1,8 pour la séquence T10 et 1,25 pour la coupure en discordance de phases.

Le temps  $t_3$  pour la séquence T100 est déduit des Tableaux 25 et 44. Le temps  $t_3$  pour les séquences d'essais T60, T30 et T10 est obtenu en multipliant le temps  $t_3$  pour la séquence d'essais T100 par 0,67 (pour T60), 0,40 (pour T30) et 0,40 (pour T10).

- Le temps de retard  $t_d$  pour la séquence T100 est  $0,15t_3$  pour les réseaux par câbles,  $0,05t_3$  pour les réseaux aériens,  $0,05t_3$  pour le côté du circuit d'alimentation du défaut proche en ligne.
- Le temps de retard  $t_d$  est  $0,15t_3$  pour les séquences d'essais T60, T30 et T10 et pour la coupure en discordance de phases.
- Tension  $u' = u_c/3$ .
- Le temps  $t'$  est déterminé à partir de  $u'$ ,  $t_3$  et  $t_d$  selon la Figure 11,  $t' = t_d + t_3/3$ .

**Tableau 24 – Valeurs normales de la TTR présumée pour les disjoncteurs de classe S1 – Tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 100 kV – Représentation par deux paramètres**

*Remplacer le titre du tableau existant par ce qui suit:*

**Tableau 24 – Valeurs de la TTR présumée pour les disjoncteurs de classe S1 pour  $k_{pp} = 1,5$**

*Ajouter, après le Tableau 24, le tableau suivant:*

**Tableau 43 – Valeurs de la TTR présumée pour les disjoncteurs  
de classe S1 pour  $k_{pp} = 1,3$**

| Tension<br>assignée | Séquence<br>d'essais | $k_{pp}$ | Facteur<br>d'amplitude | Valeur<br>de<br>crête<br>de<br>TTR | Temps       | Temps<br>de<br>retard | Tension    | Temps      | VATR <sup>a</sup>  |
|---------------------|----------------------|----------|------------------------|------------------------------------|-------------|-----------------------|------------|------------|--------------------|
| $U_r$<br>kV         |                      | p.u      | $k_{af}$<br>p.u        | $u_c$<br>kV                        | $t_3$<br>μs | $t_d$<br>μs           | $u'$<br>kV | $t'$<br>μs | $u_c/t_3$<br>kV/μs |
| 3,6                 | T100                 | 1,3      | 1,4                    | 5,3                                | 35          | 5                     | 1,8        | 17         | 0,15               |
|                     | T60                  | 1,3      | 1,5                    | 5,7                                | 15          | 2                     | 1,9        | 7          | 0,37               |
|                     | T30                  | 1,3      | 1,6                    | 6,1                                | 8           | 1,2                   | 2,0        | 3,8        | 0,79               |
|                     | T10                  | 1,5      | 1,7                    | 7,5                                | 9           | 1,4                   | 2,5        | 4,4        | 0,83               |
| 4,76 <sup>b</sup>   | T100                 | 1,3      | 1,4                    | 7,1                                | 37          | 6                     | 2,4        | 18         | 0,19               |
|                     | T60                  | 1,3      | 1,5                    | 7,6                                | 17          | 3                     | 2,5        | 8          | 0,46               |
|                     | T30                  | 1,3      | 1,6                    | 8,1                                | 8,7         | 1,3                   | 2,7        | 4,2        | 0,93               |
|                     | T10                  | 1,5      | 1,7                    | 9,9                                | 10          | 1,5                   | 3,3        | 4,8        | 0,99               |
| 7,2                 | T100                 | 1,3      | 1,4                    | 10,7                               | 45          | 7                     | 4,1        | 22         | 0,24               |
|                     | T60                  | 1,3      | 1,5                    | 11,5                               | 19          | 3                     | 3,8        | 9          | 0,60               |
|                     | T30                  | 1,3      | 1,6                    | 12,2                               | 10          | 1,5                   | 4,1        | 5          | 1,28               |
|                     | T10                  | 1,5      | 1,7                    | 15,0                               | 11          | 2                     | 5,0        | 5          | 1,36               |
| 8,25 <sup>b</sup>   | T100                 | 1,3      | 1,4                    | 12,3                               | 45          | 7                     | 4,1        | 22         | 0,27               |
|                     | T60                  | 1,3      | 1,5                    | 13,1                               | 20          | 3                     | 4,4        | 10         | 0,66               |
|                     | T30                  | 1,3      | 1,6                    | 14,0                               | 10          | 1,5                   | 4,7        | 5          | 1,47               |
|                     | T10                  | 1,5      | 1,7                    | 17,2                               | 11          | 2                     | 5,7        | 6          | 1,56               |
| 12                  | T100                 | 1,3      | 1,4                    | 17,8                               | 52          | 8                     | 5,9        | 25         | 0,34               |
|                     | T60                  | 1,3      | 1,5                    | 19,1                               | 24          | 4                     | 6,4        | 12         | 0,81               |
|                     | T30                  | 1,3      | 1,6                    | 20,4                               | 11          | 2                     | 6,8        | 5          | 1,81               |
|                     | T10                  | 1,5      | 1,7                    | 25,0                               | 13          | 2                     | 8,3        | 6          | 1,92               |
| 15 <sup>b</sup>     | T100                 | 1,3      | 1,4                    | 22,3                               | 57          | 9                     | 7,4        | 28         | 0,39               |
|                     | T60                  | 1,3      | 1,5                    | 23,9                               | 25          | 4                     | 8,0        | 12         | 0,95               |
|                     | T30                  | 1,3      | 1,6                    | 25,5                               | 13          | 2                     | 8,5        | 6          | 1,96               |
|                     | T10                  | 1,5      | 1,7                    | 31,2                               | 15          | 2                     | 9,8        | 7          | 2,08               |
| 17,5                | T100                 | 1,3      | 1,4                    | 26,0                               | 62          | 9                     | 8,7        | 30         | 0,42               |
|                     | T60                  | 1,3      | 1,5                    | 27,9                               | 27          | 4                     | 9,3        | 13         | 1,04               |
|                     | T30                  | 1,3      | 1,6                    | 29,7                               | 14          | 2                     | 9,9        | 7          | 2,14               |
|                     | T10                  | 1,5      | 1,7                    | 36,4                               | 16          | 2                     | 12,1       | 8          | 2,28               |
| 24                  | T100                 | 1,3      | 1,4                    | 35,7                               | 76          | 11                    | 11,9       | 37         | 0,47               |
|                     | T60                  | 1,3      | 1,5                    | 38,2                               | 33          | 5                     | 12,7       | 16         | 1,16               |
|                     | T30                  | 1,3      | 1,6                    | 40,8                               | 17          | 3                     | 13,6       | 8          | 2,47               |
|                     | T10                  | 1,5      | 1,7                    | 50                                 | 19          | 3                     | 16,7       | 9          | 2,63               |
| 27 <sup>b</sup>     | T100                 | 1,3      | 1,4                    | 40,1                               | 78          | 12                    | 12,8       | 38         | 0,51               |
|                     | T60                  | 1,3      | 1,5                    | 43,0                               | 35          | 5                     | 13,7       | 17         | 1,25               |
|                     | T30                  | 1,3      | 1,6                    | 45,8                               | 17          | 3                     | 14,6       | 8          | 2,65               |
|                     | T10                  | 1,5      | 1,7                    | 56,2                               | 20          | 3                     | 17,9       | 10         | 2,82               |
| 36                  | T100                 | 1,3      | 1,4                    | 53,5                               | 94          | 14                    | 17,8       | 45         | 0,57               |
|                     | T60                  | 1,3      | 1,5                    | 57,3                               | 42          | 6                     | 19,1       | 20         | 1,38               |
|                     | T30                  | 1,3      | 1,6                    | 61,1                               | 21          | 3                     | 20,4       | 10         | 2,94               |
|                     | T10                  | 1,5      | 1,7                    | 75,0                               | 24          | 4                     | 25,0       | 12         | 3,13               |
| 38 <sup>b</sup>     | T100                 | 1,3      | 1,4                    | 56,5                               | 94          | 14                    | 18,8       | 46         | 0,60               |
|                     | T60                  | 1,3      | 1,5                    | 60,5                               | 42          | 6                     | 20,2       | 20         | 1,45               |

| Tension assignée | Séquence d'essais | $k_{pp}$ | Facteur d'amplitude | Valeur de crête de TTR | Temps       | Temps de retard | Tension    | Temps      | VATR <sup>a</sup>  |
|------------------|-------------------|----------|---------------------|------------------------|-------------|-----------------|------------|------------|--------------------|
| $U_r$<br>kV      |                   | p.u      | $k_{af}$<br>p.u     | $u_c$<br>kV            | $t_3$<br>μs | $t_d$<br>μs     | $u'$<br>kV | $t'$<br>μs | $u_c/t_3$<br>kV/μs |
|                  | T30               | 1,3      | 1,6                 | 64,5                   | 21          | 3               | 21,5       | 10         | 3,10               |
|                  | T10               | 1,5      | 1,7                 | 79,1                   | 24          | 4               | 26,4       | 12         | 3,30               |
| 52               | T100              | 1,3      | 1,4                 | 77,3                   | 114         | 17              | 25,8       | 55         | 0,68               |
|                  | T60               | 1,3      | 1,5                 | 82,8                   | 50          | 8               | 27,6       | 24         | 1,65               |
|                  | T30               | 1,3      | 1,6                 | 88,3                   | 25          | 4               | 29,4       | 12         | 3,52               |
|                  | T10               | 1,5      | 1,7                 | 108                    | 29          | 4               | 36,1       | 14         | 3,72               |
| 72,5             | T100              | 1,3      | 1,4                 | 108                    | 144         | 22              | 36,0       | 70         | 0,75               |
|                  | T60               | 1,3      | 1,5                 | 115                    | 63          | 10              | 38,3       | 31         | 1,82               |
|                  | T30               | 1,3      | 1,6                 | 123                    | 31          | 5               | 41,0       | 15         | 3,94               |
|                  | T10               | 1,5      | 1,7                 | 151                    | 36          | 5               | 50,3       | 18         | 4,19               |

<sup>a</sup> VATR = vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement.

<sup>b</sup> Utilisée dans certains pays.

NOTE Un facteur de premier pôle qui coupe  $k_{pp} = 1,5$  est spécifié pour couvrir les conditions de défauts limités par transformateurs avec  $X_0/X_1$  supérieur à 3,0 (par exemple transformateurs non effectivement mis à la terre raccordés à des réseaux à neutre effectivement à la terre, ou cas de transformateurs avec un côté effectivement mis à la terre et l'autre côté connecté à des réseaux à neutre non effectivement à la terre). La TTR spécifiée couvre également les cas de défauts en ligne triphasés avec des réseaux à neutre effectivement à la terre ( $k_{pp} = 1,3$ ) avec lesquels le couplage entre phases peut entraîner un facteur d'amplitude de 1,76.

**Tableau 25 – Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement présumée<sup>c</sup> pour les disjoncteurs de classe S2 – Tension assignée supérieure ou égale à 15 kV et inférieure à 100 kV – Représentation par deux paramètres**

Remplacer le titre du tableau existant par ce qui suit:

**Tableau 25 – Valeurs de la TTR présumée pour les disjoncteurs de classe S2 pour  $k_{pp} = 1,5$**

Remplacer " <sup>c</sup> " au bas du tableau par le mot "NOTE".

Ajouter, après le Tableau 25, le tableau suivant:

**Tableau 44 – Valeurs de la TTR présumée pour les disjoncteurs  
de classe S2 pour  $k_{pp} = 1,3$**

| Tension assignée  | Séquence d'essais | Facteur de premier pôle qui coupe<br>$k_{pp}$<br>p.u | Facteur d'amplitude<br>$k_{af}$<br>p.u | Valeur de crête de TTR<br>$u_c$<br>kV | Temps<br>$t_3$<br>$\mu s$ | Temps de retard<br>$t_d$<br>$\mu s$ | Tension<br>$u'$<br>kV | Temps<br>$t'$<br>$\mu s$ | VATR <sup>a</sup><br>$u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ |
|-------------------|-------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|
| 15,5 <sup>b</sup> | T100              | 1,3                                                  | 1,54                                   | 25,3                                  | 27                        | 2 (4)                               | 8,2                   | 11 (13)                  | 0,94                                          |
|                   | T60               | 1,3                                                  | 1,65                                   | 27,2                                  | 18                        | 3                                   | 8,8                   | 9                        | 1,49                                          |
|                   | T30               | 1,3                                                  | 1,74                                   | 28,0                                  | 11                        | 2                                   | 9,2                   | 5                        | 2,65                                          |
|                   | T10               | 1,5                                                  | 1,80                                   | 34,2                                  | 12,5                      | 2                                   | 11,0                  | 6                        | 2,76                                          |
| 17,5              | T100              | 1,3                                                  | 1,54                                   | 28,6                                  | 30                        | 2 (5)                               | 9,5                   | 12 (15)                  | 0,97                                          |
|                   | T60               | 1,3                                                  | 1,65                                   | 30,7                                  | 20                        | 3                                   | 10,2                  | 10                       | 1,53                                          |
|                   | T30               | 1,3                                                  | 1,74                                   | 32,3                                  | 12                        | 2                                   | 10,8                  | 6                        | 2,66                                          |
|                   | T10               | 1,5                                                  | 1,80                                   | 38,6                                  | 14                        | 2                                   | 12,9                  | 7                        | 2,76                                          |
| 24                | T100              | 1,3                                                  | 1,54                                   | 39,2                                  | 37                        | 2 (6)                               | 13,1                  | 14 (18)                  | 1,05                                          |
|                   | T60               | 1,3                                                  | 1,65                                   | 42,0                                  | 25                        | 4                                   | 14,0                  | 12                       | 1,67                                          |
|                   | T30               | 1,3                                                  | 1,74                                   | 44,3                                  | 15                        | 2                                   | 14,8                  | 7                        | 3,01                                          |
|                   | T10               | 1,5                                                  | 1,80                                   | 52,9                                  | 17                        | 3                                   | 17,6                  | 8                        | 3,11                                          |
| 25,8 <sup>b</sup> | T100              | 1,3                                                  | 1,54                                   | 42,2                                  | 39                        | 2 (6)                               | 12,8                  | 15 (19)                  | 1,08                                          |
|                   | T60               | 1,3                                                  | 1,65                                   | 45,2                                  | 26                        | 4                                   | 15,1                  | 13                       | 1,74                                          |
|                   | T30               | 1,3                                                  | 1,74                                   | 47,7                                  | 16                        | 2                                   | 15,9                  | 8                        | 3,06                                          |
|                   | T10               | 1,5                                                  | 1,80                                   | 56,9                                  | 18                        | 3                                   | 19,0                  | 9                        | 3,16                                          |
| 36                | T100              | 1,3                                                  | 1,54                                   | 58,9                                  | 50                        | 3 (8)                               | 19,6                  | 20 (25)                  | 1,19                                          |
|                   | T60               | 1,3                                                  | 1,65                                   | 63,1                                  | 33                        | 5                                   | 21,0                  | 16                       | 1,91                                          |
|                   | T30               | 1,3                                                  | 1,74                                   | 66,5                                  | 20                        | 3                                   | 22,2                  | 10                       | 3,33                                          |
|                   | T10               | 1,5                                                  | 1,80                                   | 79,4                                  | 23                        | 3                                   | 26,5                  | 11                       | 3,45                                          |
| 38 <sup>b</sup>   | T100              | 1,3                                                  | 1,54                                   | 62,1                                  | 51                        | 3 (8)                               | 20,7                  | 20 (25)                  | 1,22                                          |
|                   | T60               | 1,3                                                  | 1,65                                   | 66,6                                  | 35                        | 5                                   | 22,2                  | 17                       | 1,92                                          |
|                   | T30               | 1,3                                                  | 1,74                                   | 70,2                                  | 21                        | 3                                   | 23,4                  | 10                       | 3,38                                          |
|                   | T10               | 1,5                                                  | 1,80                                   | 83,8                                  | 24                        | 4                                   | 28,0                  | 12                       | 3,49                                          |
| 48,3 <sup>b</sup> | T100              | 1,3                                                  | 1,54                                   | 79,0                                  | 61                        | 3 (9)                               | 26,3                  | 23 (29)                  | 1,30                                          |
|                   | T60               | 1,3                                                  | 1,65                                   | 84,6                                  | 41                        | 6                                   | 28,2                  | 20                       | 2,07                                          |
|                   | T30               | 1,3                                                  | 1,74                                   | 89,2                                  | 24                        | 4                                   | 29,7                  | 12                       | 3,68                                          |
|                   | T10               | 1,5                                                  | 1,80                                   | 107                                   | 28                        | 4                                   | 35,5                  | 13,5                     | 3,82                                          |
| 52                | T100              | 1,3                                                  | 1,54                                   | 85,0                                  | 64                        | 3 (10)                              | 28,3                  | 24 (31)                  | 1,33                                          |
|                   | T60               | 1,3                                                  | 1,65                                   | 91,1                                  | 43                        | 7                                   | 30,4                  | 21                       | 2,10                                          |
|                   | T30               | 1,3                                                  | 1,74                                   | 96,0                                  | 26                        | 4                                   | 32,0                  | 13                       | 3,70                                          |
|                   | T10               | 1,5                                                  | 1,80                                   | 115                                   | 30                        | 4                                   | 38,3                  | 14                       | 3,83                                          |
| 72,5              | T100              | 1,3                                                  | 1,54                                   | 119                                   | 81                        | 4 (12)                              | 39,5                  | 31 (39)                  | 1,47                                          |
|                   | T60               | 1,3                                                  | 1,65                                   | 127                                   | 54                        | 8                                   | 42,3                  | 26                       | 2,35                                          |
|                   | T30               | 1,3                                                  | 1,74                                   | 134                                   | 32                        | 5                                   | 44,6                  | 16                       | 4,19                                          |
|                   | T10               | 1,5                                                  | 1,80                                   | 160                                   | 37                        | 6                                   | 53,3                  | 18                       | 4,32                                          |

<sup>a</sup> VATR = vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement.

<sup>b</sup> Utilisée dans certains pays.

NOTE Un facteur de premier pôle qui coupe  $k_{pp} = 1,5$  est spécifié pour couvrir les conditions de défauts limités par transformateurs avec  $X_0/X_1$  supérieur à 3,0 (par exemple transformateurs non effectivement mis à la terre raccordés à des réseaux à neutre effectivement à la terre, ou cas de transformateurs avec un côté effectivement mis à la terre et l'autre côté connecté à des réseaux à neutre non effectivement à la terre). La TTR spécifiée couvre également les cas de défauts en ligne triphasés avec des réseaux à neutre effectivement à la terre ( $k_{pp} = 1,3$ ) avec lesquels le couplage entre phases peut entraîner un facteur d'amplitude de 1,76.

#### 6.104.5.2 Séquences d'essais T100s et T100a

*Remplacer les trois premiers alinéas par ce qui suit:*

Pour les tensions assignées inférieures à 100 kV, les valeurs spécifiées sont indiquées dans

- les Tableaux 24 et 43 pour les disjoncteurs de classe S1;
- les Tableaux 25 et 44 pour les disjoncteurs de classe S2.

Pour les tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV, les valeurs spécifiées sont indiquées dans les Tableaux 26 et 27.

Les tracés de référence, segments définissant le retard et TTRI spécifiés sont donnés par les valeurs indiquées dans les Tableaux 6, 7, 24, 25, 26 et 27.

*Remplacer, dans l'avant-dernier alinéa ajouté par l'Amendement 1, «du défaut proche en ligne» par «L<sub>90</sub>» et dans le dernier alinéa ajouté par l'Amendement 1, «de défaut proche en ligne (SLF)» par «L<sub>90</sub>»*

*Remplacer la dernière phrase de l'avant-dernier alinéa ajouté par l'Amendement 1, par ce qui suit:*

Par conséquent, les exigences de la TTRI des séquences d'essais T100s et T100a sont considérées comme satisfaites si la séquence d'essais L<sub>90</sub> est effectuée en utilisant une ligne avec un temps de retard inférieur à 100 ns et une impédance d'onde de 450 Ω.

*Remplacer, dans le dernier alinéa ajouté par l'Amendement 1, l'expression "Lorsque des séquences d'essai de défaut proche en ligne avec un retard inférieur à 100 ns sont utilisées" par "Lorsque la séquence d'essais du défaut proche en ligne L<sub>90</sub> avec un temps de retard inférieur à 100 ns est utilisée".*

#### 6.104.5.3 Séquence d'essais T60

*Remplacer le premier alinéa par ce qui suit:*

Pour les tensions assignées inférieures à 100 kV, les valeurs spécifiées sont indiquées dans

- les Tableaux 24 et 43 pour les disjoncteurs de classe S1;
- les Tableaux 25 et 44 pour les disjoncteurs de classe S2.

#### 6.104.5.4 Séquence d'essais T30

*Remplacer le point a), modifié par l'Amendement 1, par ce qui suit:*

a) Pour les tensions assignées inférieures à 100 kV, les valeurs spécifiées sont indiquées dans

- les Tableaux 24 et 43 pour les disjoncteurs de classe S1;
- les Tableaux 25 et 44 pour les disjoncteurs de classe S2.

Si de petites valeurs du temps  $t_3$  ne peuvent pas être satisfaites, la durée la plus courte pouvant être satisfaite doit être utilisée. Les valeurs utilisées doivent être consignées dans le rapport d'essai.

#### **6.104.5.5 Séquence d'essais T10**

*Modifier le point a), modifié par l'Amendement 1, par ce qui suit:*

- a) Pour les tensions assignées inférieures à 100 kV, les valeurs spécifiées sont indiquées dans
- les Tableaux 24 et 43 pour les disjoncteurs de classe S1;
  - les Tableaux 25 et 44 pour les disjoncteurs de classe S2.

#### **6.104.5.6 Séquences d'essais OP1 et OP2**

*Remplacer le texte existant par le nouveau texte et les nouveaux tableaux suivants:*

Pour les tensions assignées inférieures ou égales à 72,5 kV, les valeurs spécifiées sont indiquées dans les tableaux suivants:

- Tableau 45 pour les disjoncteurs de classe S1 destinés à être utilisés dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre;
- Tableau 46 pour les disjoncteurs de classe S2 destinés à être utilisés dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre;
- Tableau 47 pour les disjoncteurs de classe S1 destinés à être utilisés dans des réseaux à neutre effectivement à la terre;
- Tableau 48 pour les disjoncteurs de classe S2 destinés à être utilisés dans des réseaux à neutre effectivement à la terre.

Pour les tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV, les valeurs spécifiées sont indiquées dans les Tableaux 26 et 27. Lorsque deux valeurs de temps sont données à  $t_2$ ,  $t_d$  et  $t'$ , elles indiquent les limites inférieures et supérieures qui doivent être utilisées pour les essais.

**Tableau 45 – Valeurs de la TTR présumée pour les essais en discordance de phases sur les disjoncteurs de classe S1 pour  $k_{pp} = 2,5$** 

| Tension assignée  | Facteur de premier pôle qui coupe | Facteur d'amplitude | Valeur de crête de TTR | Temps            | Temps de retard  | Tension    | Temps           | VATR <sup>a</sup>        |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|------------------|------------------|------------|-----------------|--------------------------|
| $U_r$<br>kV       | $k_{pp}$<br>p.u.                  | $k_{af}$<br>p.u.    | $u_c$<br>kV            | $t_3$<br>$\mu s$ | $t_d$<br>$\mu s$ | $u'$<br>kV | $t'$<br>$\mu s$ | $u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ |
| 3,6               | 2,5                               | 1,25                | 9,2                    | 82               | 12               | 3,1        | 40              | 0,11                     |
| 4,76 <sup>b</sup> | 2,5                               | 1,25                | 12,1                   | 88               | 13               | 4,0        | 43              | 0,14                     |
| 7,2               | 2,5                               | 1,25                | 18,4                   | 102              | 15               | 6,1        | 49              | 0,18                     |
| 8,25 <sup>b</sup> | 2,5                               | 1,25                | 21,1                   | 104              | 16               | 7,0        | 50              | 0,20                     |
| 12                | 2,5                               | 1,25                | 30,6                   | 122              | 18               | 10,2       | 59              | 0,25                     |
| 15 <sup>b</sup>   | 2,5                               | 1,25                | 38,3                   | 132              | 20               | 12,8       | 64              | 0,29                     |
| 17,5              | 2,5                               | 1,25                | 44,7                   | 142              | 21               | 14,9       | 69              | 0,31                     |
| 24                | 2,5                               | 1,25                | 61,2                   | 174              | 26               | 20,4       | 84              | 0,35                     |
| 27 <sup>b</sup>   | 2,5                               | 1,25                | 68,9                   | 182              | 27               | 22,9       | 88              | 0,38                     |
| 36                | 2,5                               | 1,25                | 91,9                   | 218              | 33               | 30,6       | 105             | 0,42                     |
| 38 <sup>b</sup>   | 2,5                               | 1,25                | 97,0                   | 218              | 33               | 32,3       | 105             | 0,45                     |
| 48,3 <sup>b</sup> | 2,5                               | 1,25                | 123                    | 250              | 38               | 41,1       | 121             | 0,49                     |
| 52                | 2,5                               | 1,25                | 133                    | 262              | 39               | 44,2       | 127             | 0,51                     |
| 72,5              | 2,5                               | 1,25                | 185                    | 330              | 50               | 61,7       | 160             | 0,56                     |

<sup>a</sup> VATR = vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement.

<sup>b</sup> Utilisée dans certains pays.

**Tableau 46 – Valeurs de la TTR présumée pour les essais en discordance de phases sur les disjoncteurs de classe S2 pour  $k_{pp} = 2,5$** 

| Tension assignée  | Facteur de premier pôle qui coupe | Facteur d'amplitude | Valeur de crête de TTR | Temps            | Temps de retard  | Tension    | Temps           | VATR <sup>a</sup>        |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|------------------|------------------|------------|-----------------|--------------------------|
| $U_r$<br>kV       | $k_{pp}$<br>p.u.                  | $k_{af}$<br>p.u.    | $u_c$<br>kV            | $t_3$<br>$\mu s$ | $t_d$<br>$\mu s$ | $u'$<br>kV | $t'$<br>$\mu s$ | $u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ |
| 15 <sup>b</sup>   | 2,5                               | 1,25                | 38,3                   | 62               | 9                | 12,8       | 30              | 0,62                     |
| 17,5              | 2,5                               | 1,25                | 45                     | 68               | 10               | 14,9       | 33              | 0,65                     |
| 24                | 2,5                               | 1,25                | 61                     | 86               | 13               | 20,4       | 42              | 0,71                     |
| 25,8 <sup>b</sup> | 2,5                               | 1,25                | 66                     | 90               | 14               | 21,9       | 44              | 0,73                     |
| 36                | 2,5                               | 1,25                | 92                     | 114              | 17               | 30,6       | 55              | 0,81                     |
| 38 <sup>b</sup>   | 2,5                               | 1,25                | 97                     | 118              | 18               | 32,3       | 57              | 0,82                     |
| 48,3 <sup>b</sup> | 2,5                               | 1,25                | 123                    | 140              | 21               | 41,1       | 68              | 0,88                     |
| 52                | 2,5                               | 1,25                | 133                    | 148              | 22               | 44,2       | 72              | 0,90                     |
| 72,5              | 2,5                               | 1,25                | 185                    | 186              | 28               | 61,7       | 90              | 0,99                     |

<sup>a</sup> VATR = vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement.

<sup>b</sup> Utilisée dans certains pays.

**Tableau 47 – Valeurs de la TTR présumée pour les essais en discordance de phases sur les disjoncteurs de classe S1 pour  $k_{pp} = 2,0$**

| Tension assignée  | Facteur de premier pôle qui coupe | Facteur d'amplitude | Valeur de crête de TTR | Temps            | Temps de retard  | Tension    | Temps           | VATR <sup>a</sup>        |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|------------------|------------------|------------|-----------------|--------------------------|
| $U_r$<br>kV       | $k_{pp}$<br>p.u.                  | $k_{af}$<br>p.u.    | $u_c$<br>kV            | $t_3$<br>$\mu s$ | $t_d$<br>$\mu s$ | $u'$<br>kV | $t'$<br>$\mu s$ | $u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ |
| 3,6               | 2,0                               | 1,25                | 7,3                    | 67               | 10               | 2,4        | 32              | 0,11                     |
| 4,76 <sup>b</sup> | 2,0                               | 1,25                | 9,7                    | 69               | 10               | 3,2        | 33              | 0,14                     |
| 7,2               | 2,0                               | 1,25                | 14,7                   | 82               | 12               | 4,9        | 39              | 0,18                     |
| 8,25 <sup>b</sup> | 2,0                               | 1,25                | 16,8                   | 84               | 13               | 5,6        | 41              | 0,20                     |
| 12                | 2,0                               | 1,25                | 24,5                   | 98               | 15               | 8,2        | 47              | 0,25                     |
| 15 <sup>b</sup>   | 2,0                               | 1,25                | 30,6                   | 106              | 16               | 10,2       | 51              | 0,29                     |
| 17,5              | 2,0                               | 1,25                | 35,7                   | 115              | 17               | 11,9       | 56              | 0,31                     |
| 24                | 2,0                               | 1,25                | 49,0                   | 140              | 21               | 16,3       | 68              | 0,35                     |
| 27                | 2,0                               | 1,25                | 55,2                   | 146              | 22               | 17,6       | 71              | 0,38                     |
| 36                | 2,0                               | 1,25                | 73,5                   | 175              | 26               | 24,5       | 86              | 0,42                     |
| 38 <sup>b</sup>   | 2,0                               | 1,25                | 77,6                   | 172              | 26               | 25,9       | 83              | 0,45                     |
| 52                | 2,0                               | 1,25                | 106                    | 208              | 31               | 35,4       | 101             | 0,51                     |
| 72,5              | 2,0                               | 1,25                | 148                    | 264              | 40               | 49,3       | 128             | 0,56                     |

<sup>a</sup> VATR = vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement.

<sup>b</sup> Utilisée dans certains pays.

**Tableau 48 – Valeurs de la TTR présumée pour les essais en discordance de phases sur les disjoncteurs de classe S2 pour  $k_{pp} = 2,0$**

| Tension assignée  | Facteur de premier pôle qui coupe | Facteur d'amplitude | Valeur de crête de TTR | Temps            | Temps de retard  | Tension    | Temps           | VATR <sup>a</sup>        |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|------------------|------------------|------------|-----------------|--------------------------|
| $U_r$<br>kV       | $k_{pp}$<br>p.u.                  | $k_{af}$<br>p.u.    | $u_c$<br>kV            | $t_3$<br>$\mu s$ | $t_d$<br>$\mu s$ | $u'$<br>kV | $t'$<br>$\mu s$ | $u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ |
| 15,5              | 2,0                               | 1,25                | 31,6                   | 49               | 7                | 10,2       | 24              | 0,64                     |
| 17,5              | 2,0                               | 1,25                | 35,7                   | 55               | 8                | 11,9       | 26              | 0,65                     |
| 24                | 2,0                               | 1,25                | 49,0                   | 69               | 10               | 16,3       | 33              | 0,71                     |
| 25,8 <sup>b</sup> | 2,0                               | 1,25                | 52,7                   | 72               | 11               | 17,6       | 35              | 0,73                     |
| 36                | 2,0                               | 1,25                | 73,5                   | 91               | 14               | 24,5       | 44              | 0,81                     |
| 38 <sup>b</sup>   | 2,0                               | 1,25                | 77,6                   | 95               | 14               | 25,9       | 46              | 0,82                     |
| 48,3 <sup>b</sup> | 2,0                               | 1,25                | 98,6                   | 112              | 17               | 32,9       | 54              | 0,88                     |
| 52                | 2,0                               | 1,25                | 106                    | 118              | 18               | 35,4       | 57              | 0,90                     |
| 72,5              | 2,0                               | 1,25                | 148                    | 150              | 22               | 49,3       | 72              | 0,99                     |

<sup>a</sup> VATR = vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement.

<sup>b</sup> Utilisée dans certains pays.

**Tableau 26 – Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement présumée – Tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV**

Remplacer le Tableau 26, modifié par l'Amendement 1, par ce qui suit:

**Tableau 26 – Valeurs de la TTR présumée pour les disjoncteurs ayant une valeur assignée  $k_{pp} = 1,2$  ou  $1,3$  – Tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV**

| Tension assignée | Séquence d'essais | Facteur de premier pôle qui coupe | Facteur d'amplitude | Première tension de référence | Temps       | Valeur de crête de TTR | Temps                | Temps de retard | Tension    | Temps      | Vitesse d'accroissement         |
|------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------|------------------------|----------------------|-----------------|------------|------------|---------------------------------|
| $U_r$<br>kV      |                   | $k_{pp}$<br>p.u.                  | $k_{af}$<br>p.u.    | $u_1$<br>kV                   | $t_1$<br>μs | $u_c$<br>kV            | $t_2$ ou $t_3$<br>μs | $t_d$<br>μs     | $u'$<br>kV | $t'$<br>μs | $u_1/t_1$<br>$u_c/t_3$<br>kV/μs |
| 100              | T100              | 1,3                               | 1,40                | 80                            | 40          | 149                    | 160                  | 2 (11)          | 40         | 22 (31)    | 2                               |
|                  | T60               | 1,3                               | 1,50                | 80                            | 27          | 159                    | 162                  | 2-8             | 40         | 15-21      | 3                               |
|                  | T30               | 1,3                               | 1,54                | -                             | -           | 163                    | 33                   | 5               | 54         | 16         | 5                               |
|                  | T10               | 1,5                               | 0,9 × 1,7           | -                             | -           | 187                    | 27                   | 4               | 62         | 13         | 7                               |
|                  | OP1-OP2           | 2                                 | 1,25                | 122                           | 80          | 204                    | 160-320              | 2-8             | 61         | 42-48      | 1,54                            |
| 123              | T100              | 1,3                               | 1,40                | 98                            | 49          | 183                    | 196                  | 2 (14)          | 49         | 26 (38)    | 2                               |
|                  | T60               | 1,3                               | 1,50                | 98                            | 33          | 196                    | 198                  | 2-10            | 49         | 18-26      | 3                               |
|                  | T30               | 1,3                               | 1,54                | -                             | -           | 201                    | 40                   | 6               | 67         | 19         | 5                               |
|                  | T10               | 1,5                               | 0,9 × 1,7           | -                             | -           | 230                    | 33                   | 5               | 77         | 16         | 7                               |
|                  | OP1-OP2           | 2                                 | 1,25                | 151                           | 98          | 251                    | 196-392              | 2-10            | 75         | 51-59      | 1,54                            |
| 145              | T100              | 1,3                               | 1,40                | 115                           | 58          | 215                    | 232                  | 2 (16)          | 58         | 31 (45)    | 2                               |
|                  | T60               | 1,3                               | 1,50                | 115                           | 38          | 231                    | 228                  | 2-12            | 58         | 21-31      | 3                               |
|                  | T30               | 1,3                               | 1,54                | -                             | -           | 237                    | 47                   | 7               | 79         | 23         | 5                               |
|                  | T10               | 1,5                               | 0,9 × 1,7           | -                             | -           | 272                    | 39                   | 6               | 91         | 19         | 7                               |
|                  | OP1-OP2           | 2                                 | 1,25                | 178                           | 116         | 296                    | 232-464              | 2-12            | 89         | 60-70      | 1,54                            |
| 170              | T100              | 1,3                               | 1,40                | 135                           | 68          | 253                    | 272                  | 2 (19)          | 68         | 36 (53)    | 2                               |
|                  | T60               | 1,3                               | 1,50                | 135                           | 45          | 271                    | 270                  | 2-14            | 68         | 25-36      | 3                               |
|                  | T30               | 1,3                               | 1,54                | -                             | -           | 278                    | 56                   | 8               | 93         | 27         | 5                               |
|                  | T10               | 1,5                               | 0,9 × 1,7           | -                             | -           | 319                    | 46                   | 7               | 106        | 22         | 7                               |
|                  | OP1-OP2           | 2                                 | 1,25                | 208                           | 136         | 347                    | 272-544              | 2-14            | 104        | 70-82      | 1,54                            |
| 245              | T100              | 1,3                               | 1,40                | 195                           | 98          | 364                    | 392                  | 2 (27)          | 98         | 51 (76)    | 2                               |
|                  | T60               | 1,3                               | 1,50                | 195                           | 65          | 390                    | 390                  | 2-20            | 98         | 35-52      | 3                               |
|                  | T30               | 1,3                               | 1,54                | -                             | -           | 400                    | 80                   | 12              | 133        | 39         | 5                               |
|                  | T10               | 1,3                               | 1,76                | -                             | -           | 459                    | 66                   | 10              | 153        | 32         | 7                               |
|                  | OP1-OP2           | 2                                 | 1,25                | 300                           | 196         | 500                    | 392-784              | 2-20            | 150        | 99-117     | 1,54                            |
| 300              | T100              | 1,3                               | 1,40                | 239                           | 119         | 446                    | 476                  | 2 (33)          | 119        | 62 (93)    | 2                               |
|                  | T60               | 1,3                               | 1,50                | 239                           | 80          | 478                    | 480                  | 2-24            | 119        | 42-64      | 3                               |
|                  | T30               | 1,3                               | 1,54                | -                             | -           | 490                    | 98                   | 15              | 163        | 47         | 5                               |
|                  | T10               | 1,3                               | 1,76                | -                             | -           | 562                    | 80                   | 12              | 187        | 39         | 7                               |

| Tension assignée | Séquence d'essais | Facteur de premier pôle qui coupe | Facteur d'amplitude | Première tension de référence | Temps | Valeur de crête de TTR | Temps          | Temps de retard | Tension | Temps     | Vitesse d'accroissement |
|------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------|------------------------|----------------|-----------------|---------|-----------|-------------------------|
| $U_r$            |                   | $k_{pp}$                          | $k_{af}$            | $u_1$                         | $t_1$ | $u_c$                  | $t_2$ ou $t_3$ | $t_d$           | $u'$    | $t'$      | $u_1/t_1$<br>$u_c/t_3$  |
|                  | OP1-OP2           | 2                                 | 1,25                | 367                           | 238   | 612                    | 476-952        | 2-24            | 184     | 121-143   | 1,54                    |
| 362              | T100              | 1,3                               | 1,40                | 288                           | 144   | 538                    | 576            | 2 (40)          | 144     | 74 (112)  | 2                       |
|                  | T60               | 1,3                               | 1,50                | 288                           | 96    | 576                    | 576            | 2-29            | 144     | 50-77     | 3                       |
|                  | T30               | 1,3                               | 1,54                | -                             | -     | 592                    | 118            | 18              | 197     | 57        | 5                       |
|                  | T10               | 1,3                               | 1,76                | -                             | -     | 678                    | 97             | 15              | 226     | 47        | 7                       |
|                  | OP1-OP2           | 2                                 | 1,25                | 443                           | 288   | 739                    | 576-1152       | 2-29            | 222     | 146-173   | 1,54                    |
| 420              | T100              | 1,3                               | 1,40                | 334                           | 167   | 624                    | 668            | 2 (47)          | 167     | 86 (130)  | 2                       |
|                  | T60               | 1,3                               | 1,50                | 334                           | 111   | 669                    | 666            | 2-33            | 167     | 58-89     | 3                       |
|                  | T30               | 1,3                               | 1,54                | -                             | -     | 687                    | 137            | 21              | 229     | 66        | 5                       |
|                  | T10               | 1,3                               | 1,76                | -                             | -     | 787                    | 112            | 17              | 262     | 54        | 7                       |
|                  | OP1-OP2           | 2                                 | 1,25                | 514                           | 334   | 857                    | 668-1336       | 2-33            | 257     | 169-200   | 1,54                    |
| 550              | T100              | 1,3                               | 1,40                | 438                           | 219   | 817                    | 876            | 2 (61)          | 219     | 111 (171) | 2                       |
|                  | T60               | 1,3                               | 1,50                | 438                           | 146   | 876                    | 876            | 2-44            | 219     | 75-117    | 3                       |
|                  | T30               | 1,3                               | 1,54                | -                             | -     | 899                    | 180            | 27              | 300     | 87        | 5                       |
|                  | T10               | 1,3                               | 1,76                | -                             | -     | 1031                   | 147            | 22              | 344     | 71        | 7                       |
|                  | OP1-OP2           | 2                                 | 1,25                | 674                           | 438   | 1123                   | 876-1752       | 2-44            | 337     | 221-263   | 1,54                    |
| 800              | T100              | 1,3                               | 1,40                | 637                           | 318   | 1189                   | 1272           | 2 (89)          | 318     | 161 (248) | 2                       |
|                  | T60               | 1,3                               | 1,50                | 637                           | 212   | 1274                   | 1272           | 2-64            | 318     | 108-170   | 3                       |
|                  | T30               | 1,3                               | 1,54                | -                             | -     | 1308                   | 262            | 39              | 436     | 126       | 5                       |
|                  | T10               | 1,3                               | 1,76                | -                             | -     | 1499                   | 214            | 32              | 500     | 103       | 7                       |
|                  | OP1-OP2           | 2                                 | 1,25                | 980                           | 636   | 1633                   | 1272-2544      | 2-64            | 490     | 320-382   | 1,54                    |
| 1 100            | T100              | 1,2                               | 1,50                | 808                           | 404   | 1617                   | 1212           | 2 (113)         | 404     | 204 (315) | 2                       |
|                  | T60               | 1,2                               | 1,50                | 808                           | 269   | 1617                   | 1212           | 2-81            | 404     | 137-216   | 3                       |
|                  | T30               | 1,2                               | 1,54                | -                             | -     | 1660                   | 332            | 50              | 553     | 161       | 5                       |
|                  | T10               | 1,2                               | 1,76                | -                             | -     | 1897                   | 271            | 41              | 632     | 131       | 7                       |
|                  | OP1-OP2           | 2                                 | 1,25                | -                             | -     | 2245                   | 1458           | 2-73            | 748     | 488-559   | 1,54                    |

| Tension assignée | Séquence d'essais | Facteur de premier pôle qui coupe | Facteur d'amplitude | Première tension de référence | Temps | Valeur de crête de TTR | Temps          | Temps de retard | Tension | Temps     | Vitesse d'accroissement |
|------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------|------------------------|----------------|-----------------|---------|-----------|-------------------------|
| $U_r$            |                   | $k_{pp}$                          | $k_{af}$            | $u_1$                         | $t_1$ | $u_c$                  | $t_2$ ou $t_3$ | $t_d$           | $u'$    | $t'$      | $u_1/t_1$<br>$u_c/t_3$  |
| 1 200            | T100              | 1,2                               | 1,50                | 882                           | 441   | 1764                   | 1323           | 2 (123)         | 441     | 222 (343) | 2                       |
|                  | T60               | 1,2                               | 1,50                | 882                           | 294   | 1764                   | 1323           | 2-88            | 441     | 149-235   | 3                       |
|                  | T30               | 1,2                               | 1,54                | -                             | -     | 1811                   | 362            | 54              | 604     | 175       | 5                       |
|                  | T10               | 1,2                               | 1,76                | -                             | -     | 2069                   | 296            | 44              | 690     | 143       | 7                       |
|                  | OP1-OP2           | 2                                 | 1,25                | -                             | -     | 2449                   | 1590           | 2-80            | 816     | 532-610   | 1,54                    |

NOTE 1 Lorsque deux valeurs de temps sont données à  $t_d$  et  $t'$  pour la séquence d'essais T100, séparées par des parenthèses, le temps  $t_d$  entre parenthèses est la limite supérieure du temps de retard  $t_d$  qui peut être utilisée pour la séquence d'essais T100 si des essais de défaut proche en ligne sont aussi effectués. Dans ces cas, le segment de retard se termine à  $t'$  indiqué entre parenthèses. Si cela n'est pas le cas, les valeurs les plus faibles de  $t_d$  et  $t'$  s'appliquent.

Lorsque deux valeurs de temps sont données à  $t_2$ ,  $t_d$  et  $t'$  pour les séquences d'essais de défaut aux bornes T60 et les séquences d'essais en discordance de phases OP1 et OP2, elles indiquent les limites inférieures et supérieures qu'il convient d'utiliser pour l'essai. Il convient que les valeurs de retard  $t_d$  et de temps  $t'$  lors de l'essai ne soient ni plus faibles que les limites inférieures respectives, ni plus élevées que les limites supérieures respectives.

NOTE 2  $k_{pp} = 1,5$  est spécifié pour la séquence d'essais T10 pour des tensions assignées comprises entre 100 kV et 170 kV inclus pour couvrir les conditions de défauts limités par transformateurs avec  $X_0/X_1$  supérieur à 3,0 (par exemple transformateurs non effectivement mis à la terre raccordés à des réseaux à neutre effectivement à la terre, ou cas de transformateurs avec un côté effectivement mis à la terre et l'autre côté connecté à des réseaux à neutre non effectivement à la terre). La TTR spécifiée couvre également les cas de défauts en ligne triphasés avec des réseaux à neutre effectivement à la terre ( $k_{pp} = 1,3$ ) avec lesquels le couplage entre phases peut entraîner un facteur d'amplitude de 1,76.

**Tableau 27 – Valeurs normales de la TTR présumée – Tensions assignées de 100 kV et 170 kV, cas des réseaux à neutre non effectivement à la terre – Représentation par quatre paramètres (T100, T60, OP1 et OP2) ou deux paramètres (T30 et T10)**

Remplacer le titre existant comme suit:

**Tableau 27 – Valeurs de la TTR présumée pour les disjoncteurs ayant une valeur assignée  $k_{pp} = 1,5$  – Tensions assignées comprises entre 100 kV et 170 kV**

Remplacer la NOTE 1, modifiée par l'Amendement 1, et la NOTE 2 dans le Tableau 27 par ce qui suit:

NOTE 1 Lorsque deux valeurs de temps sont données à  $t_d$  et  $t'$  pour la séquence d'essais T100, séparées par des parenthèses, le temps  $t_d$  entre parenthèses est la limite supérieure du temps de retard  $t_d$  qui peut être utilisée pour la séquence d'essais T100 si des essais de défaut proche en ligne sont aussi effectués. Dans ces cas, le segment de retard se termine à  $t'$  indiqué entre parenthèses. Si cela n'est pas le cas, les valeurs les plus faibles de  $t_d$  et  $t'$  s'appliquent.

Lorsque deux valeurs de temps sont données à  $t_2$ ,  $t_d$  et  $t'$  pour les séquences d'essais de défaut aux bornes T60 et les séquences d'essais en discordance de phases OP1 et OP2, elles indiquent les limites inférieures et supérieures qu'il convient d'utiliser pour l'essai. Il convient que les valeurs de retard  $t_d$  et de temps  $t'$  lors de l'essai ne soient ni plus faibles que les limites inférieures respectives, ni plus élevées que les limites supérieures respectives.

NOTE 2  $k_{pp} = 1,5$  est spécifié pour la séquence d'essais T10 pour des tensions assignées comprises entre 100 kV et 170 kV inclus pour couvrir les conditions de défauts limités par transformateurs avec  $X_0/X_1$  supérieur à 3,0 (par exemple transformateurs non effectivement mis à la terre raccordés à des réseaux à neutre effectivement à la terre, ou cas de transformateurs avec un côté effectivement mis à la terre et l'autre côté connecté à des réseaux à neutre non effectivement à la terre).

Ajouter, à la fin de 6.104.7, les nouveaux paragraphes suivants:

#### 6.104.8 Tension transitoire de rétablissement initiale (TTRI)

Chaque période de l'onde de TTR peut influencer sur les performances de coupure d'un disjoncteur. Le tout début de la TTR peut être important pour certains types de disjoncteurs. Cette période de la TTR, dénommée TTR initiale (TTRI), est provoquée par une oscillation initiale de faible amplitude due aux réflexions sur la première discontinuité majeure du jeu de barres. Des valeurs normales sont données dans le Tableau 7.

Si un disjoncteur destiné à être utilisé dans des réseaux avec une tension assignée inférieure ou égale à 800 kV a un pouvoir de coupure en défaut proche en ligne assigné, les exigences de la TTRI sont satisfaites si la séquence d'essais de défaut proche en ligne  $L_{90}$  est effectuée avec une ligne ayant un temps de retard inférieur à 100 ns (voir 6.104.5.2 et 6.109.3) à moins que les deux bornes ne soient pas identiques d'un point de vue électrique (c'est le cas, par exemple, lorsqu'une capacité supplémentaire est utilisée, comme mentionné dans la Note 4 de 6.109.3). Lorsque les bornes ne sont pas identiques d'un point de vue électrique, des circuits d'essai produisant une contrainte de la TTR équivalente aux bornes du disjoncteur peuvent être utilisés.

Pour les disjoncteurs destinés à être utilisés dans des réseaux avec une tension assignée supérieure à 800 kV, les exigences de la TTRI sont considérées comme satisfaites si la séquence d'essais de défaut proche en ligne  $L_{90}$  est effectuée avec une ligne ayant un temps de retard inférieur à 100 ns et une impédance d'onde de 450  $\Omega$  à moins que les deux bornes ne soient pas identiques d'un point de vue électrique (c'est le cas, par exemple, lorsqu'une capacité supplémentaire est utilisée, comme mentionné dans la Note 4 de 6.109.3). Lorsque les bornes ne sont pas identiques d'un point de vue électrique, des circuits d'essai produisant une contrainte de la TTR équivalente aux bornes du disjoncteur peuvent être utilisés.

Étant donné que la TTRI est proportionnelle à l'impédance d'onde des jeux de barres et au courant, les exigences la concernant peuvent être négligées pour tous les disjoncteurs ayant un pouvoir de coupure assigné en court-circuit inférieur à 25 kA et pour les disjoncteurs de tension assignée inférieure à 100 kV. De plus, les exigences concernant la TTRI peuvent être négligées pour les disjoncteurs installés dans l'appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse (GIS – gas insulated switchgear) du fait de la faible impédance d'onde. Les exigences concernant la TTRI peuvent également être négligées pour les disjoncteurs directement connectés à un jeu de barres ayant une capacité totale côté alimentation supérieure à 800 pF.

**Tableau 7 – Valeurs normales de la TTRI –  
Tensions assignées supérieures ou égales à 100 kV**

| Tension assignée<br><br>$U_r$<br>kV | Coefficient multiplicateur servant à déterminer $u_i$ en fonction de la valeur efficace du pouvoir de coupure en court-circuit $I_{sc}^*$ |       | Temps<br><br>$t_i$<br>μs |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------|
|                                     | $f_i$<br>kV/kA                                                                                                                            |       |                          |
|                                     | 50 Hz                                                                                                                                     | 60 Hz |                          |
| 100                                 | 0,046                                                                                                                                     | 0,055 | 0,4                      |
| 123                                 | 0,046                                                                                                                                     | 0,055 | 0,4                      |
| 145                                 | 0,046                                                                                                                                     | 0,055 | 0,4                      |
| 170                                 | 0,058                                                                                                                                     | 0,069 | 0,5                      |
| 245                                 | 0,069                                                                                                                                     | 0,083 | 0,6                      |
| 300                                 | 0,081                                                                                                                                     | 0,097 | 0,7                      |
| 362                                 | 0,092                                                                                                                                     | 0,111 | 0,8                      |
| 420                                 | 0,092                                                                                                                                     | 0,111 | 0,8                      |
| 550                                 | 0,116                                                                                                                                     | 0,139 | 1,0                      |
| 800                                 | 0,159                                                                                                                                     | 0,191 | 1,1                      |
| 1 100                               | 0,173                                                                                                                                     | 0,208 | 1,5                      |
| 1 200                               | 0,173                                                                                                                                     | 0,208 | 1,5                      |

NOTE Ces valeurs couvrent à la fois les défauts triphasés et monophasés et sont fondées sur l'hypothèse selon laquelle le jeu de barres, y compris les éléments qui y sont raccordés (supports, transformateurs de courant et de tension, sectionneurs, etc.), peut être approximativement représenté par une impédance d'onde résultante  $Z_i$  d'environ 260 Ω sauf dans le cas d'une tension assignée de 800 kV, pour laquelle l'impédance d'onde résultante  $Z_i$  est d'environ 325 Ω. La relation entre  $f_i$  et  $t_i$  est alors:

$$f_i = t_i \times Z_i \times \omega \times \sqrt{2}$$

où

$\omega = 2\pi f_r$  est la fréquence angulaire correspondant à la fréquence assignée  $f_r$  du disjoncteur.

\* Les tensions de crête initiale réelles sont obtenues en multipliant les valeurs de ces colonnes par la valeur efficace du courant de court-circuit.

#### 6.104.9 Multiplicateurs pour la TTR pour les deuxième et troisième pôles qui coupent

La TTR est définie pour le premier pôle qui coupe. Afin d'obtenir les valeurs de VATR et  $u_c$  pour les deuxième et troisième pôles qui coupent, un multiplicateur doit être appliqué aux valeurs de VATR et  $u_c$  du premier pôle qui coupe avec le facteur de premier pôle qui coupe applicable. Les valeurs de ces multiplicateurs sont données dans le Tableau 6.

**Tableau 6 – Valeurs normales des multiplicateurs pour la TTR pour les deuxième et troisième pôles qui coupent à des tensions assignées supérieures à 1 kV**

| Facteur de premier pôle qui coupe<br><br>$k_{pp}$      | Multiplicateurs   |       |                   |       |
|--------------------------------------------------------|-------------------|-------|-------------------|-------|
|                                                        | 2e pôle qui coupe |       | 3e pôle qui coupe |       |
|                                                        | VATR              | $u_c$ | VATR              | $u_c$ |
| 1,2 (défaut aux bornes)<br>2,0 (discordance de phases) | 0,95              | 0,95  | 0,83              | 0,83  |
| 1,3 (défaut aux bornes)<br>2,0 (discordance de phases) | 0,95              | 0,97  | 0,70              | 0,77  |
| 1,5 (défaut aux bornes)<br>2,5 (discordance de phases) | 0,70              | 0,58  | 0,70              | 0,58  |

Les multiplicateurs du Tableau 6 ont été calculés à partir des hypothèses suivantes:

- seuls les défauts triphasés à la terre sont pris en compte;
- la vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement (VATR) à 100 % des courants de court-circuit dépend principalement des lignes aériennes et est calculée comme le produit du rapport  $di/dt$  au passage par zéro de courant par l'impédance d'onde équivalente;
- l'impédance d'onde équivalente est calculée à partir des impédances d'onde homopolaire ( $Z_0$ ) et directe ( $Z_1$ ) observées aux bornes du disjoncteur. Une valeur approximative de 2 a été prise pour le rapport  $Z_0/Z_1$ ;
- la valeur de crête de la TTR ( $u_c$ ) est proportionnelle à la valeur instantanée de la tension de rétablissement à fréquence industrielle à l'instant de coupure.

Voir aussi les Figures 13 et 14 et l'IEC TR 62271-306.

NOTE 1 Ce tableau est valable pour les séquences d'essais T10, T30, T60, T100s, T100a, OP1 et OP2.

NOTE 2 Les valeurs sont des valeurs arrondies qui dépendent du rapport  $Z_0/Z_1$  des circuits de TTR, de la constante de temps du système et des tensions assignées.

Pour les essais en triphasé, le circuit d'essai doit être conçu de façon à atteindre les valeurs  $u_c$  présumées pour les deuxième et troisième pôles qui coupent. Il n'est pas nécessaire d'atteindre les valeurs présumées de VATR.

#### **6.106 Séquences d'essais de court-circuit fondamentales**

*Ajouter, à la fin du premier alinéa, la phrase suivante:*

Les essais effectués avec une manœuvre de refermeture automatique rapide couvrent les essais effectués sans refermeture automatique rapide.

##### **6.106.1 Séquence d'essais T10**

*Remplacer l'alinéa par ce qui suit:*

La séquence d'essais T10 se compose de la séquence de manœuvres assignée à 10 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit avec une composante apériodique à la séparation des contacts inférieure à 20 % et d'une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telles que spécifiées en 6.104.5.5 et 6.104.7 (voir également les Tableaux 24, 25, 43, 44, 26 et 27).

##### **6.106.2 Séquence d'essais T30**

*Remplacer l'alinéa par ce qui suit:*

La séquence d'essais T30 se compose de la séquence de manœuvres assignée à 30 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit avec une composante apériodique à la séparation des contacts inférieure à 20 % et d'une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telles que spécifiées en 6.104.5.4 et 6.104.7 (voir également les Tableaux 24, 25, 43, 44, 26 et 27).

##### **6.106.3 Séquence d'essais T60**

*Remplacer l'alinéa par ce qui suit:*

La séquence d'essais T60 se compose de la séquence de manœuvres assignée à 60 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit avec une composante apériodique à la séparation des contacts inférieure à 20 % et d'une tension de rétablissement transitoire et à fréquence

industrielle telles que spécifiées en 6.104.5.3 et 6.104.7 (voir également les Tableaux 24, 25, 43, 44, 26 et 27).

#### **6.106.4 Séquence d'essais T100s**

*Remplacer le premier alinéa par ce qui suit:*

La séquence d'essais T100s se compose de la séquence de manœuvres assignée à 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit en tenant compte de 6.104.3, avec une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telle que spécifiée en 6.104.5.2 et 6.104.7 (voir également les Tableaux 24, 25, 43, 44, 26 et 27) et 100 % du pouvoir d'établissement assigné en court-circuit en tenant compte de 6.104.2, et une tension appliquée telle que spécifiée en 6.104.1.

#### **6.106.5 Séquence d'essais T100a**

*Remplacer l'alinéa commençant par "La séquence d'essais T100a se compose de trois manœuvres" par ce qui suit:*

La séquence d'essais T100a se compose de trois manœuvres d'ouverture à 100 % du pouvoir de coupure assigné en court-circuit avec les critères d'asymétrie exigés concernant la crête et la durée de la dernière grande alternance et les conditions de la durée d'arc associées données en 6.102.10 et une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle présumée dans des conditions symétriques telles que spécifiées en 6.104.5.2 et 6.104.7.

*Supprimer l'alinéa au-dessus de la note.*

*Remplacer la note par l'alinéa suivant:*

Le changement d'un déclencheur d'ouverture ou de fermeture ne constitue pas un mécanisme d'entraînement alternatif. Si la durée d'ouverture du disjoncteur est exclusivement réduite en raison de l'utilisation d'un déclencheur à action plus rapide, il convient de vérifier si la plage des durées minimales de coupure, comme indiquée aux Tableaux 39 et 40 pour ce déclencheur, est toujours couverte par les essais effectués avec le déclencheur initial. Si le disjoncteur appartient à une plage comprenant des durées minimales de coupure plus courtes, il suffit de répéter la séquence d'essais T100a uniquement pour cette plage, le reste des essais de type restant valable, à condition que le déclencheur soit soumis aux essais conformément aux paragraphes et aux normes correspondants.

#### **6.106.6 Critères d'asymétrie**

*Supprimer le paragraphe entier, y compris 6.106.1 à 6.106.6.3.*

#### **6.109.1 Cas d'application**

*Remplacer le deuxième alinéa, modifié par l'Amendement 1, par ce qui suit:*

Les essais de défaut proche en ligne sont exigés pour les disjoncteurs prévus pour être raccordés directement à des lignes aériennes ayant une tension assignée supérieure ou égale à 15 kV et un pouvoir de coupure assigné en court-circuit supérieur à 12,5 kA (voir 4.105).

#### **6.109.2 Courant d'essai**

*Dans la dernière phrase de ce paragraphe, remplacer «l'Annexe J et l'Article L.3» par "l'IEC TR 62271-306".*

### 6.109.3 Circuit d'essai

Remplacer le premier alinéa par ce qui suit:

Le circuit d'essai doit être monophasé et comprendre un circuit d'alimentation et un circuit côté ligne (voir Figures 46, 47 et 48). La TTR du côté alimentation doit être calculée sur la base d'un facteur de premier pôle qui coupe égal à 1,0. Les valeurs des caractéristiques de ligne sont données dans le Tableau 8. Les exigences fondamentales sont les suivantes:

- les valeurs du facteur de VATR, basées sur une impédance d'onde de la ligne  $Z$ , du facteur de crête  $k$  et du temps de retard côté ligne  $t_{dL}$  sont indiquées dans le Tableau 8. Pour la détermination du temps de retard côté ligne et de la vitesse d'accroissement de la tension côté ligne, voir la Figure 16;
- la méthode pour le calcul des TTR à partir des caractéristiques est donnée à l'Annexe A.

**Tableau 8 – Valeurs des caractéristiques de ligne pour les défauts proches en ligne**

| Tension assignée         | Impédance d'onde | Facteur de crête | Facteur de VATR         |       | Temps de retard     |
|--------------------------|------------------|------------------|-------------------------|-------|---------------------|
|                          |                  |                  | 50 Hz                   | 60 Hz |                     |
| $U_r$<br>kV              | $Z$<br>$\Omega$  | $k$              | $s^b$<br>kV/ $\mu$ s kA |       | $t_{dL}$<br>$\mu$ s |
| $15 \leq U_r \leq 38$    | 450              | 1,6              | 0,200                   | 0,240 | 0,1                 |
| $48,3 \leq U_r \leq 170$ | 450              | 1,6              | 0,200                   | 0,240 | 0,2                 |
| $245 \leq U_r \leq 800$  | 450              | 1,6              | 0,200                   | 0,240 | 0,5                 |
| $U_r > 800$              | 330 <sup>a</sup> | 1,6              | 0,147                   | 0,176 | 0,5                 |

NOTE Ces valeurs couvrent les cas de défauts proches en ligne considérés dans la présente norme. Pour des lignes très courtes ( $t_L < 5t_{dL}$ ), les exigences indiquées dans le tableau ne peuvent pas être toutes satisfaites. Les procédures permettant d'aborder le cas des lignes très courtes sont données dans l'IEC TR 62271-306 [4].

<sup>a</sup> Comme décrit en 4.104.7, une valeur de 450  $\Omega$  peut être utilisée pendant l'essai pour satisfaire aux exigences de la TTRI.

<sup>b</sup> Pour le facteur de VATR  $s$ , voir Annexe A.

Remplacer la dernière phrase du deuxième alinéa après b2), ajouté par l'Amendement 1, comme suit:

La tangente sur la section comprise entre 0 et  $0,2 \times u_L$  à la TTR côté ligne tracée en parallèle à la ligne passant par  $0,2 \times u_L$  et  $0,8 \times u_L$  coupe la ligne de zéro au temps  $t_{dL}$ . Voir également 7.3.1.1 de l'IEC 62271-306:2012.

### 6.109.4 Séquences d'essai

Ajouter la phrase suivante et le nouveau Tableau 49 après le deuxième alinéa:

La TTR présumée du circuit d'alimentation doit être conforme au Tableau 49.

**Tableau 49 – Valeurs de la TTR présumée du circuit d'alimentation utilisé lors des essais de défaut proche en ligne**

| Tension assignée  | Facteur de premier pôle qui coupe | Facteur d'amplitude | Première tension de référence | Temps | Valeur de crête de TTR | Temps          | Temps de retard | Tension | Temps | VATR <sup>a</sup>      |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------|------------------------|----------------|-----------------|---------|-------|------------------------|
| $U_r$             | $k_{pp}$                          | $k_{af}$            | $u_1$                         | $t_1$ | $u_c$                  | $t_2$ ou $t_3$ | $t_d$           | $u'$    | $t'$  | $u_1/t_1$<br>$u_c/t_3$ |
| kV                | p.u.                              | p.u.                | kV                            | µs    | kV                     | µs             | µs              | kV      | µs    | kV/µs                  |
| 15                | 1                                 | 1,54                | -                             | -     | 18,9                   | 31             | 2               | 6,3     | 12    | 0,61                   |
| 15,5 <sup>b</sup> | 1                                 | 1,54                | -                             | -     | 19,5                   | 31             | 2               | 6,5     | 12    | 0,63                   |
| 17,5              | 1                                 | 1,54                | -                             | -     | 22,0                   | 34             | 2               | 7,3     | 13    | 0,65                   |
| 24                | 1                                 | 1,54                | -                             | -     | 30,2                   | 43             | 2               | 10,1    | 16    | 0,70                   |
| 25,8 <sup>b</sup> | 1                                 | 1,54                | -                             | -     | 32,4                   | 45             | 2               | 10,8    | 17    | 0,72                   |
| 27 <sup>b</sup>   | 1                                 | 1,54                | -                             | -     | 33,9                   | 45             | 2               | 11,3    | 17    | 0,75                   |
| 36                | 1                                 | 1,54                | -                             | -     | 45,3                   | 57             | 3               | 15,1    | 22    | 0,79                   |
| 38 <sup>b</sup>   | 1                                 | 1,54                | -                             | -     | 47,8                   | 59             | 3               | 15,9    | 23    | 0,81                   |
| 48,3 <sup>b</sup> | 1                                 | 1,54                | -                             | -     | 60,7                   | 70             | 4               | 20,2    | 27    | 0,87                   |
| 52                | 1                                 | 1,54                | -                             | -     | 65,4                   | 74             | 4               | 21,8    | 28    | 0,88                   |
| 72,5              | 1                                 | 1,54                | -                             | -     | 91,2                   | 93             | 5               | 30,4    | 36    | 0,98                   |
| 100               | 1                                 | 1,40                | 61                            | 31    | 114                    | 124            | 2               | 31      | 17    | 2                      |
| 123               | 1                                 | 1,40                | 75                            | 38    | 141                    | 152            | 2               | 38      | 21    | 2                      |
| 145               | 1                                 | 1,40                | 89                            | 44    | 166                    | 176            | 2               | 44      | 24    | 2                      |
| 170               | 1                                 | 1,40                | 104                           | 52    | 194                    | 208            | 2               | 52      | 28    | 2                      |
| 245               | 1                                 | 1,40                | 150                           | 75    | 280                    | 300            | 2               | 75      | 40    | 2                      |
| 300               | 1                                 | 1,40                | 184                           | 92    | 343                    | 368            | 2               | 92      | 48    | 2                      |
| 362               | 1                                 | 1,40                | 222                           | 111   | 414                    | 444            | 2               | 111     | 57    | 2                      |
| 420               | 1                                 | 1,40                | 257                           | 129   | 480                    | 516            | 2               | 129     | 66    | 2                      |
| 550               | 1                                 | 1,40                | 337                           | 168   | 629                    | 672            | 2               | 168     | 86    | 2                      |
| 800               | 1                                 | 1,40                | 490                           | 245   | 914                    | 980            | 2               | 245     | 124   | 2                      |
| 1 100             | 1                                 | 1,50                | 674                           | 337   | 1 347                  | 1 011          | 2               | 337     | 170   | 2                      |
| 1 200             | 1                                 | 1,50                | 735                           | 367   | 1 470                  | 1 101          | 2               | 367     | 186   | 2                      |

<sup>a</sup> VATR = vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement.  
<sup>b</sup> Utilisée dans certains pays.

## 6.110.2 Tensions d'essais

Remplacer la dernière phrase par ce qui suit:

La TTR doit être conforme aux indications de 6.104.5.6.

## 6.111 Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs

Remplacer le paragraphe entier par ce qui suit:

## **6.111 Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs**

### **6.111.1 Généralités**

Le présent paragraphe décrit les procédures d'essais de courants capacitifs pour les différentes caractéristiques assignées définies en 4.107 et leur classe de réamorçage associée.

Les caractéristiques assignées et la classe démontrées pour l'établissement et la coupure de courants de batteries de condensateurs à gradins sont également valables pour l'établissement et la coupure de courants de batteries uniques de condensateurs.

Les essais effectués à 60 Hz couvrent les essais effectués à 50 Hz pour la même classe de probabilité de réamorçage.

Les essais effectués à 50 Hz couvrent les essais effectués à 60 Hz sous réserve que, pendant les premières 8,3 ms, la tension aux bornes du disjoncteur ne soit pas inférieure à celle qui existerait dans un essai effectué à 60 Hz.

### **6.111.2 Cas d'application**

Les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sont applicables à tous les disjoncteurs auxquels une ou plusieurs des caractéristiques assignées suivantes ont été attribuées:

- pouvoir de coupure assigné de lignes à vide;
- pouvoir de coupure assigné de câbles à vide;
- pouvoir de coupure assigné de batterie unique de condensateurs;
- pouvoir de fermeture et de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins.

Les valeurs préférentielles pour les pouvoirs assignés d'établissement et de coupure de courants capacitifs sont données au Tableau 9.

Les essais spécifiés pour ces caractéristiques assignées sont des essais de type individuels, chacun comprenant une série d'essais avec deux séquences d'essais.

NOTE 1 La détermination des surtensions lors de l'établissement et de la coupure de courants capacitifs n'est pas couverte par la présente norme.

NOTE 2 Des notes explicatives concernant l'établissement et la coupure de courants capacitifs sont données dans l'IEC TR 62271-306 [4].

### **6.111.3 Caractéristiques des circuits d'alimentation**

Pour les essais en laboratoire, les lignes et les câbles peuvent être partiellement ou complètement remplacés par des circuits artificiels avec des éléments concentrés: condensateurs, inductances ou résistances.

Le circuit d'essai doit remplir les exigences suivantes:

- a) il convient que les caractéristiques du circuit d'essai soient telles que la variation de tension à la fréquence industrielle, lors de l'établissement et de la coupure du courant, soit inférieure à 2 % pour la séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1) et inférieure à 5 % pour la séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2). Lorsque la variation de tension est supérieure aux valeurs spécifiées, il est admissible, en variante, d'effectuer les essais avec la tension de rétablissement spécifiée (6.111.10) ou des essais synthétiques;
- b) l'impédance du circuit d'alimentation ne doit pas être trop basse au point que son courant de court-circuit soit supérieur au courant de court-circuit assigné du disjoncteur.

Pour les essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide, de câbles à vide et de batteries uniques de condensateurs, la TTR présumée du circuit d'alimentation ne doit pas être plus sévère que la TTR spécifiée en 6.104.5.2 pour la séquence d'essais T100s.

Pour les essais d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs à gradins, la capacité du circuit d'alimentation et l'impédance entre les condensateurs du côté alimentation et du côté charge doivent être telles qu'elles génèrent le pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins lors de l'essai à 100 % du pouvoir de coupure assigné de batteries de condensateurs à gradins.

Pour les essais d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs à gradins avec lesquels des essais séparés d'établissement sont effectués, un circuit d'alimentation avec une capacité plus faible peut être choisi pour les essais de coupure. Il convient toutefois de ne pas choisir une capacité trop faible afin que la TTR présumée du circuit d'alimentation ne dépasse pas celle qui est spécifiée pour le court-circuit en 6.104.5.2.

La fréquence du circuit d'essai doit être la fréquence assignée avec une tolérance de  $\pm 2\%$ .

#### **6.111.4 Mise à la terre du circuit d'essai**

##### **6.111.4.1 Circuit d'alimentation**

Pour les essais en monophasé en laboratoire, l'une ou l'autre des bornes du circuit d'alimentation monophasé peut être mise à la terre. Toutefois, quand il est nécessaire d'assurer une répartition adéquate de la tension entre les éléments du disjoncteur, un autre point du circuit d'alimentation peut être mis à la terre.

Pour les essais en triphasé, la mise à la terre du circuit d'alimentation doit s'effectuer de la façon suivante:

- a) pour les essais d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs, le point neutre du circuit d'alimentation doit être mis à la terre. Pour les batteries de condensateurs à neutre effectivement à la terre, l'impédance homopolaire ne doit pas être supérieure au triple de l'impédance directe. Pour les batteries de condensateurs à neutre isolé, ce ratio n'est pas pertinent;
- b) pour les essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide et de câbles à vide, il convient que la mise à la terre du circuit d'alimentation corresponde aux conditions de mise à la terre des circuits sur lesquels le disjoncteur doit être utilisé:
  - pour les essais en triphasé d'un disjoncteur destiné à être utilisé avec des réseaux à neutre effectivement à la terre, le point neutre du circuit d'alimentation doit être mis à la terre et son impédance homopolaire ne doit pas être supérieure au triple de l'impédance directe;
  - pour les essais en triphasé d'un disjoncteur destiné à être utilisé avec des réseaux à neutre non effectivement à la terre, le point neutre du côté alimentation doit être isolé.

Pour des raisons de commodité de réalisation des essais, un autre circuit d'essai peut être utilisé tant que sont obtenues les valeurs équivalentes de la tension de rétablissement données dans les Tableaux O.1 et O.2.

Il convient de porter une attention particulière à l'influence des condensateurs utilisés pour l'ajustement de la TTR sur les valeurs de la tension de rétablissement, particulièrement pour des courants capacitifs de faible amplitude. Le Tableau 32 donne les valeurs exigées de la tension de rétablissement.

##### **6.111.4.2 Circuit de charge pour les essais d'établissement et de coupure en triphasé de courants de batteries de condensateurs**

Les essais effectués avec un neutre isolé de batterie de condensateurs couvrent les performances relatives à l'établissement et à la coupure des batteries de condensateurs

ayant un neutre à la terre. Toutefois, les essais effectués avec une alimentation et un neutre de batterie de condensateurs mis à la terre ne sont pas valables pour démontrer les performances relatives à l'établissement et à la coupure des batteries de condensateurs ayant un neutre isolé.

### **6.111.5 Caractéristiques du circuit capacitif à établir et à couper**

#### **6.111.5.1 Généralités**

Il y a trois possibilités:

- a) essais en triphasé avec lesquels, dans le cas d'essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide ou de courants de câbles à vide, il est admissible d'utiliser des lignes ou des câbles en parallèle respectivement ou de remplacer partiellement ou complètement la ligne ou le câble triphasé(e) réel(le) par des batteries de condensateurs concentrées. La capacité résultante directe doit être égale à deux fois la capacité homopolaire pour les essais représentant des câbles à ceinture à trois âmes pour les tensions assignées supérieures à 72,5 kV et trois fois la capacité homopolaire pour les tensions assignées inférieures ou égales à 72,5 kV;
- b) essais en monophasé dans un circuit d'essai triphasé, avec deux phases du circuit capacitif reliées directement au circuit d'alimentation triphasé et une phase reliée au circuit d'alimentation par le pôle du disjoncteur à soumettre à l'essai;
- c) essais en monophasé en laboratoire avec lesquels, dans le cas d'essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide ou de courants de câbles à vide, il est admis de remplacer partiellement ou complètement les lignes ou les câbles réel(le)s respectivement par des batteries de condensateurs concentrées et d'utiliser tout couplage en parallèle des conducteurs de chaque phase avec courant de retour par la terre ou par un conducteur.

Les caractéristiques du circuit capacitif doivent être telles qu'avec tous les dispositifs de mesure nécessaires, y compris les diviseurs de tension, la chute de tension côté charge ne dépasse pas 10 % à la fin d'un intervalle de temps de 0,3 s après l'extinction définitive de l'arc, sauf pour la séquence d'essais LC1 et/ou CC1, dans la mesure où la capacité de tenue pendant un intervalle de temps de 0,3 s est démontrée par toute séquence d'essais 2.

Pour les essais en laboratoire, les lignes et les câbles peuvent être partiellement ou complètement remplacés par des circuits artificiels avec des éléments concentrés: condensateurs, inductances ou résistances.

#### **6.111.5.2 Essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide et de courants de câbles à vide**

Lorsque des condensateurs sont utilisés pour simuler les lignes aériennes ou des câbles, une résistance non inductive, dont la valeur n'est pas supérieure à 5 % de l'impédance capacitive, peut être raccordée en série avec les condensateurs. Des valeurs plus élevées peuvent influencer exagérément sur la tension de rétablissement. Si, la résistance étant connectée, la valeur de crête du courant d'appel est encore trop élevée, une impédance alternative (par exemple du type LR) peut alors être utilisée à la place de la résistance.

Il est nécessaire d'utiliser avec prudence de telles impédances alternatives, étant donné qu'elles peuvent causer une surtension après un réallumage, ce qui peut donner lieu à d'autres réallumages ou à des réamorçages.

#### **6.111.5.3 Essais d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs**

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

- la valeur de crête du pouvoir de fermeture présumé est supérieure ou égale à la valeur assignée et
- la fréquence du courant d'appel utilisée au cours des essais est supérieure ou égale à 77 % de la valeur assignée. L'application de cette règle est limitée aux fréquences inférieures à 6 000 Hz.

L'amortissement présumé du courant d'appel lors de manœuvres de batteries de condensateurs à gradins, c'est-à-dire le rapport entre la deuxième crête et la première crête de même polarité, doit être égal ou supérieur à 0,75 pour les disjoncteurs de tension assignée inférieure ou égale à 72,5 kV et égal ou supérieur à 0,85 pour les disjoncteurs de tension assignée supérieure à 72,5 kV.

Une résistance non inductive, dont la valeur n'est pas supérieure à 5 % de l'impédance capacitive, peut être raccordée en série avec les condensateurs pour les essais d'établissement et de coupure de courants de batteries uniques de condensateurs et pour les essais de coupure de courants de batteries de condensateurs à gradins. Des valeurs plus élevées peuvent influencer exagérément sur la tension de rétablissement et le pouvoir de fermeture.

#### 6.111.6 Forme d'onde du courant

Il convient que la forme d'onde du courant à interrompre soit aussi proche que possible d'une sinusoïde. Cette condition est considérée comme remplie si le rapport de la valeur efficace du courant à la valeur efficace de la composante fondamentale ne dépasse pas 1,2.

Le courant à interrompre ne doit pas passer par zéro plus d'une fois par demi-période à fréquence industrielle.

#### 6.111.7 Tension d'essai

Pour des essais directs en triphasé et pour des essais en monophasé avec le circuit capacitif à couper suivant la disposition du point b) de 6.111.5.1, la tension d'essai mesurée entre les phases du circuit de charges capacitatives immédiatement avant l'ouverture ne doit pas être inférieure à la tension assignée  $U_r$  du disjoncteur.

Pour les essais directs en monophasé en laboratoire, la tension d'essai mesurée au niveau du disjoncteur immédiatement avant l'ouverture ne doit pas être inférieure au produit de  $U_r/\sqrt{3}$  par le facteur de tension capacitif suivant  $k_c$ :

- a)  $k_c = 1,0$  pour les essais correspondant au service normal dans les réseaux à neutre effectivement à la terre sans influence mutuelle significative entre phases voisines du circuit capacitif, typiquement des batteries de condensateurs à neutre à la terre et des câbles à champ radial.
- b)  $k_c = 1,2$  pour les essais sur les câbles à ceinture et pour les essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide suivant le point c) de 6.111.5.1, correspondant aux conditions normales de service dans les réseaux à neutre effectivement à la terre pour les tensions assignées supérieures à 72,5 kV.
- c)  $k_c = 1,4$  pour les essais correspondant à
  - la coupure dans les conditions normales de service dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre;
  - la coupure de courants de batteries de condensateurs à neutre isolé.

De plus,  $k_c = 1,4$  est applicable pour les essais sur câbles à ceinture et pour les essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide suivant le point c) de 6.111.5.1 correspondant aux conditions normales de service dans les réseaux à neutre effectivement à la terre pour les tensions assignées inférieures ou égales à 72,5 kV.

Pour les essais sur éléments séparés, la tension d'essai doit être choisie de façon à correspondre à l'élément le plus contraint du pôle de disjoncteur.

La tension d'essai à fréquence industrielle et la tension continue résultant de la charge résiduelle sur le circuit capacitif doivent être maintenues pendant au moins 0,3 s après la coupure.

NOTE Les facteurs de tension indiqués en b) et c) ci-dessus, sont applicables aux lignes de construction monoterne. Les exigences relatives aux essais d'établissement et de coupure des lignes aériennes comportant plusieurs circuits peuvent être supérieures à ces facteurs.

L'établissement et la coupure de courants capacitifs en cas de défauts à la terre sont traités à l'Annexe S.

#### **6.111.8 Courant d'essai**

Les courants d'essai pour les diverses séquences d'essais peuvent être déterminés à partir du Tableau 30.

#### **6.111.9 Séquences d'essai**

##### **6.111.9.1 Généralités**

Les deux séquences d'essais pour LC, CC ou BC doivent être effectuées sur un objet en essai sans aucune maintenance. Les abréviations suivantes s'appliquent:

- courant de lignes à vide, séquence d'essais 1 LC1;
- courant de lignes à vide, séquence d'essais 2 LC2;
- courant de câbles à vide, séquence d'essais 1 CC1;
- courant de câbles à vide, séquence d'essais 2 CC2;
- courant de batteries de condensateurs, séquence d'essais 1 BC1
- courant de batteries de condensateurs, séquence d'essais 2 BC2.

Ces séquences d'essais peuvent être combinées pour la même classe de performances de réamorçage afin de démontrer l'aptitude d'un disjoncteur à couvrir plusieurs caractéristiques assignées (par exemple LC et/ou CC et/ou BC). Si une telle méthode de combinaison est utilisée, les règles suivantes s'appliquent:

Les séquences d'essais et les courants d'essai doivent être comme suit:

- une séquence d'essais 2, couvrant toutes les séquences d'essais 2 de la combinaison, avec un courant représentant au moins 100 % des caractéristiques assignées du courant capacitif le plus élevé à démontrer;
- une séquence d'essais 1 avec un courant compris entre 10 % et 40 % des caractéristiques assignées du courant capacitif le plus élevé à démontrer;
- une séquence d'essais 1 pour chaque caractéristique assignée de courant capacitif plus faible, si la plage comprise entre 10 % et 40 % de cette caractéristique assignée n'est pas couverte par une séquence d'essais 1 précédente;
- toutes les autres exigences pour les séquences d'essais individuelles doivent également être satisfaites (par exemple le type, l'ordre et le nombre de manœuvres, de conditions de pression et de circuits d'essais). Lorsque des manœuvres CO sont spécifiées pour une application et des manœuvres O pour une application différente, il est considéré que les manœuvres CO couvrent les manœuvres O si les conditions d'essais sont identiques.

NOTE L'IEC TR 62271-306 [4] donne des exemples d'application des règles pour la combinaison des séquences d'essais.

##### **6.111.9.2 Conditions d'essais communes pour les performances de classes C1 et C2**

Pour les essais d'établissement-coupure, les contacts du disjoncteur ne doivent pas être séparés tant que subsistent les courants transitoires. Pour y parvenir, il peut être nécessaire d'ajuster le temps entre les manœuvres de fermeture et d'ouverture. Ce temps doit

néanmoins demeurer le plus près possible de la durée de fermeture-ouverture telle que définie en 3.7.143.

Les exigences communes pour les séquences d'essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sont données dans le Tableau 30.

**Tableau 30 – Exigences communes pour les séquences d'essais**

| Séquence d'essais | Tension de fonctionnement des déclencheurs | Pression pour la manœuvre et la coupure | Courant d'essai en pourcentage du pouvoir de coupure assigné de courants capacitifs<br>% | Type de manœuvre ou séquence de manœuvres |
|-------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| LC1, CC1 et BC1   | Tension maximale                           | Pression minimale                       | 10 à 40                                                                                  | O                                         |
| LC2, CC2 et BC2   | Tension maximale                           | Pression assignée                       | Non inférieur à 100                                                                      | O et CO ou CO                             |

NOTE 1 Les essais sont effectués avec la tension de fonctionnement maximale des déclencheurs de façon à obtenir un meilleur contrôle lors des manœuvres.

NOTE 2 Pour des raisons de commodité de réalisation des essais, des cycles de manœuvres CO peuvent être effectués dans la séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1).

Pour les disjoncteurs équipés d'un système à pression scellé, la pression minimale est remplacée par la pression assignée pour l'interruption diminuée de la chute de pression due aux fuites au cours de la durée de vie de l'appareil. Pour les disjoncteurs à vide, les conditions de la pression pour l'interruption ne sont pas applicables.

Aucune charge appréciable ne doit subsister sur les circuits capacitifs avant les manœuvres d'établissement.

Dans le cas d'essais en triphasé d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs à gradins à neutre non effectivement à la terre du côté alimentation et/ou du côté charge, la manœuvre d'établissement est considérée comme valable si les conditions suivantes sont satisfaites:

- la phase cible est impliquée dans un établissement biphasé qui doit survenir dans les limites de  $\pm 25^\circ$  de la valeur de crête de la tension entre phases de ces deux phases, ou
- l'établissement de la phase cible doit survenir dans les limites de  $\pm 25^\circ$  de la valeur de crête de la tension appliquée dans le cas d'un établissement simultané triphasé.

Pour les manœuvres d'établissement en monophasé de courants de batterie de condensateurs à gradins, l'établissement doit survenir dans les limites de  $\pm 25^\circ$  de la valeur de crête de la tension appliquée et être réparti de façon égale dans les deux polarités.

Pour les essais d'établissement et de coupure de lignes à vide et de câbles à vide, les manœuvres C peuvent être effectuées à vide. Pour les manœuvres C durant les essais de batterie unique de condensateurs, le courant établi fourni par le circuit d'essai est considéré comme suffisant.

Lorsque, dans le cas d'essais d'établissement et de coupure de courants de batterie de condensateurs à gradins, il n'est pas possible de satisfaire aux exigences des cycles de manœuvres CO, il est alors permis, pour satisfaire aux exigences de la séquence d'essais 2 (BC2), d'effectuer une série séparée d'essais d'établissement suivie d'une série d'essais comportant des manœuvres CO.

Il est également permis de ne pas effectuer ces essais séparés en deux étapes successives, l'une se composant de toutes les manœuvres C et l'autre de toutes les manœuvres CO, mais de combiner les manœuvres C et CO, à condition que le nombre de manœuvres d'établissement soit supérieur ou égal au nombre de manœuvres de coupure à tout instant au cours de cet essai.

La série séparée d'essais d'établissement doit comprendre les conditions suivantes:

- le même nombre de manœuvres lors des essais d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs à gradins, le pouvoir de fermeture présumé doit être au moins égal au pouvoir de fermeture assigné de batteries de condensateurs à gradins;
- la phase cible est impliquée dans un établissement biphasé qui doit survenir dans les limites de  $\pm 25^\circ$  de la valeur de crête de la tension entre phases de ces deux phases, ou
- l'établissement de la phase cible doit survenir dans les limites de  $\pm 25^\circ$  de la valeur de crête de la tension appliquée dans le cas d'un établissement simultané triphasé.

Pour les manœuvres d'établissement en monophasé de courants de batterie de condensateurs à gradins, l'établissement doit survenir dans les limites de  $\pm 25^\circ$  de la valeur de crête de la tension appliquée et être réparti de façon égale dans les deux polarités.

La tension d'essai doit être la tension phase-terre.

Après la série séparée de manœuvres d'établissement, les manœuvres CO doivent être réalisées avec des manœuvres de fermeture à vide. Les manœuvres CO doivent être effectuées sur le même pôle, sans remise en état intermédiaire.

NOTE Lors de l'établissement et de la coupure de courants capacitifs, la manœuvre d'ouverture dans un cycle de manœuvres CO n'est pas influencée par le préamorçage lors de la manœuvre de fermeture précédente, mais peut être affectée par le comportement réel du fluide d'extinction dû à une manœuvre de fermeture (par exemple, différences locales de densité, turbulences, mouvement du fluide). Par conséquent, les manœuvres de fermeture et d'ouverture peuvent être séparées comme mentionné ci-dessus au regard des contraintes électriques, mais pas au regard de la dynamique du fluide d'extinction. Une manœuvre de fermeture à vide précédant la manœuvre d'ouverture est nécessaire pour ces raisons.

Pour les manœuvres d'ouverture, la durée d'arc minimale est déterminée en faisant varier le réglage de la séparation des contacts lors de l'ouverture par pas d'environ  $6^\circ$ . Cette méthode peut nécessiter d'effectuer plusieurs essais pour démontrer la durée d'arc minimale.

Si une durée d'arc différente est obtenue au lieu de la durée d'arc minimale prévue, l'essai est valable et doit être inclus dans le nombre total d'essais exigés. Lors d'un tel événement, les actions suivantes sont nécessaires:

- avancer l'ordre d'ouverture de  $6^\circ$  et répéter l'essai. Le nouveau réglage doit être conservé pour les autres essais avec la durée d'arc minimale;
- effectuer une manœuvre d'ouverture de moins de façon à obtenir le même nombre total d'essais.

Un réallumage suivi par une interruption à un passage par zéro de courant ultérieur doit être considéré comme une coupure avec une durée d'arc longue.

Les durées d'arc spécifiées font généralement référence au premier pôle qui coupe. Aucune durée d'arc n'est spécifiée pour les essais supplémentaires.

Toutes les durées d'arc minimales exigées doivent être obtenues sur la même phase. Dans le cas de l'établissement et de la coupure de courants de batterie de condensateurs, le courant d'appel doit également être obtenu dans cette phase. Pour chacune des séquences d'essais, l'ordre des manœuvres tel qu'indiqué en 6.111.9.3.2, 6.111.9.3.3 et de 6.111.9.4.2 à 6.111.9.4.4 n'est pas obligatoire.

Pour les disjoncteurs ayant un arrangement asymétrique des pièces de passage du courant, le raccordement des bornes doit être inversé entre la séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1) et la séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2). Il convient que le montage d'essais soit tel qu'aucune modification de la condition du disjoncteur entre les séquences d'essais ne soit nécessaire. Cependant, si cela n'est pas possible, il est admis de diminuer la pression dans le disjoncteur, lequel doit alors être rempli à nouveau avec au moins 50 % du gaz utilisé.

### **6.111.9.3 Séquences d'essais pour la classe C1**

#### **6.111.9.3.1 Généralités**

Si le comportement du disjoncteur ne permet pas d'effectuer un contrôle précis, le nombre total d'essais est limité à 36 pour chaque séquence d'essais.

Les essais suivants peuvent être réalisés dans un ordre quelconque:

- établissement et coupure de courants capacitifs, séquence d'essais 1 (LC1 ou CC1 ou BC1);
- établissement et coupure de courants capacitifs, séquence d'essais 2 (LC2 ou CC2 ou BC2).

#### **6.111.9.3.2 Essais en triphasé d'établissement et de coupure de courants capacitifs**

La séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1) doit comprendre un total de 24 essais O. La séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2) doit comprendre un total de 24 essais CO.

*Séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1):*

- 6 O, distribuées dans une polarité (pas: 10°);
- 3 O avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
- 6 O, distribuées dans l'autre polarité (pas: 10°);
- 3 O avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels distribués pour obtenir 24 O.

*Séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2):*

- 6 CO, distribuées dans une polarité (pas: 10°);
- 3 CO avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
- 6 CO, distribuées dans l'autre polarité (pas: 10°);
- 3 CO avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels distribués pour obtenir 24 CO.

#### **6.111.9.3.3 Essais en monophasé d'établissement et de coupure de courants capacitifs**

La séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1) doit comprendre un total de 24 essais O. La séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2) doit comprendre un total de 24 essais CO.

*Séquence d'essais 1 (LC1, CC1 et BC1):*

- 6 O, distribuées dans une polarité (pas: 30°);
- 3 O avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
- 6 O, distribuées dans l'autre polarité (pas: 30°);
- 3 O avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels distribués pour obtenir 24 O.

*Séquence d'essais 2 (LC2, CC2 et BC2):*

- 6 CO, distribuées dans une polarité (pas: 30°);
- 3 CO avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
- 6 CO, distribuées dans l'autre polarité (pas: 30°);
- 3 CO avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels distribués pour obtenir 24 CO.

#### **6.111.9.4 Séquences d'essais pour la classe C2**

##### **6.111.9.4.1 Généralités**

Les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs pour les disjoncteurs de classe C2 doivent être effectués après avoir réalisé, comme essai de préconditionnement, la séquence d'essais T60 (T60 est reliée à la composante périodique du pouvoir de coupure assigné en court-circuit).

En variante, le préconditionnement peut être réalisé avec une tension réduite dans les conditions suivantes:

- même courant que la séquence d'essais T60;
- tension réduite sans application de la TTR spécifiée;
- trois coupures;
- durées d'arc: les mêmes que celles indiquées par le constructeur pour la séquence d'essais T60;
- pression assignée ou minimale pour la manœuvre et la coupure.

NOTE 1 Pour des raisons pratiques, le constructeur peut choisir d'ajouter d'autres séquences d'essais à la séquence d'essais T60 comme essais de préconditionnement.

NOTE 2 Si plusieurs essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sont effectués, par exemple, essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide, de câbles à vide et de batteries de condensateurs sur le même disjoncteur sans aucune remise en état, les essais de préconditionnement selon la séquence d'essais T60 ne nécessitent d'être effectués qu'une seule fois, au début des essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs.

Pour les essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide ou de câbles à vide, la séquence d'essais 1 et la séquence d'essais 2 peuvent être effectuées dans un ordre quelconque.

L'ordre obligatoire pour les essais d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs (uniques ou à gradins) est le suivant:

- essais d'établissement et coupure de courants capacitifs, séquence d'essais 2 (BC2);
- essais d'établissement et coupure de courants capacitifs, séquence d'essais 1 (BC1).

##### **6.111.9.4.2 Essais en triphasé d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide et de câbles à vide**

Chacune des séquences d'essais doit comprendre un total de 24 manœuvres ou cycles de manœuvres effectués comme suit:

*Séquence d'essais 1 (LC1 et CC1):*

- 4 O, distribuées dans une polarité (pas: 15°);
- 6 O avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
- 4 O, distribuées dans l'autre polarité (pas: 15°);
- 6 O avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels distribués pour obtenir 24 O.

*Séquence d'essais 2 (LC2 et CC2):*

- 4 CO, distribuées dans une polarité (pas: 15°);
- 6 CO avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
- 4 CO, distribuées dans l'autre polarité (pas: 15°);
- 6 CO avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels distribués pour obtenir 24 CO.

Si le comportement du disjoncteur ne permet pas d'effectuer un contrôle précis, le nombre total d'essais est limité à 36 pour chaque séquence d'essais, quelles que soient les durées d'arc obtenues.

**6.111.9.4.3 Essais en monophasé d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide et de câbles à vide**

Chacune des séquences d'essais doit comprendre un total de 48 manœuvres ou cycles de manœuvres effectués comme suit:

*Séquence d'essais 1 (LC1 et CC1):*

- 12 O, distribuées dans une polarité (pas: 15°);
- 6 O avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
- 12 O, distribuées dans l'autre polarité (pas: 15°);
- 6 O avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels distribués pour obtenir 48 O.

Si le comportement du disjoncteur ne permet pas d'effectuer un contrôle précis, le nombre total d'essais est limité à 72, quelles que soient les durées d'arc obtenues.

*Séquence d'essais 2 (LC2 et CC2):*

- 6 O et 6 CO, distribuées dans une polarité (pas 30°):
- 3 O et 3 CO avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
- 6 O et 6 CO, distribuées dans l'autre polarité (pas: 30°);
- 3 O et 3 CO avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels distribués pour obtenir 24 O et 24 CO.

Si le comportement du disjoncteur ne permet pas d'effectuer un contrôle précis, le nombre total d'essais est limité à 36 O et 36 CO, quelles que soient les durées d'arc obtenues.

**6.111.9.4.4 Essais en triphasé d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs (uniques ou à gradins)**

La séquence d'essais 1 (BC1) doit comprendre un total de 24 essais O. La séquence d'essais 2 (BC2) doit comprendre un total de 80 essais CO comme suit.

*Séquence d'essais 1 (BC1):*

- 4 O, distribuées dans une polarité (pas: 15°):
- 6 O avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
- 4 O, distribuées dans l'autre polarité (pas: 15°);
- 6 O avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels distribués pour obtenir 24 O.

Si le comportement du disjoncteur ne permet pas d'effectuer un contrôle précis, le nombre total d'essais est limité à 36, quelles que soient les durées d'arc obtenues.

*Séquence d'essais 2 (BC2):*

- 4 CO, distribuées dans une polarité (pas: 15°);
- 32 CO avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
- 4 CO, distribuées dans l'autre polarité (pas: 15°);
- 32 CO avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels distribués pour obtenir 80 CO.

Si le comportement du disjoncteur ne permet pas d'effectuer un contrôle précis, le nombre total d'essais est limité à 100, quelles que soient les durées d'arc et les conditions d'établissement obtenues.

**6.111.9.4.5 Essais monophasés d'établissement et de coupure de courants de batteries de condensateurs (uniques ou à gradins)**

La séquence d'essais 1 (BC1) doit comprendre un total de 48 essais O. La séquence d'essais 2 (BC2) doit comprendre un total de 80 essais CO avec la durée d'arc minimale, l'établissement survenant dans les limites de  $\pm 25^\circ$  de la valeur de crête de la tension appliquée, et 40 essais CO, pour lesquels les manœuvres C peuvent être effectuées à vide.

*Séquence d'essais 1 (BC1):*

- 12 O, distribuées dans une polarité (pas: 15°);
- 6 O avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
- 12 O, distribuées dans l'autre polarité (intervalle: 15°);
- 6 O avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels distribués pour obtenir 48 O.

Si le comportement du disjoncteur ne permet pas d'effectuer un contrôle précis, le nombre total d'essais est limité à 72, quelles que soient les durées d'arc obtenues.

*Séquence d'essais 2 (BC2):*

- 12 CO, distribuées dans une polarité (pas: 15°);
- 40 CO avec la durée d'arc minimale dans une polarité;
- 12 CO, distribuées dans l'autre polarité (pas: 15°);
- 40 CO avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels distribués pour obtenir 120 CO (pas: 15°).

Si le comportement du disjoncteur ne permet pas d'effectuer un contrôle précis, le nombre total d'essais nécessaire pour répondre à l'exigence de l'angle d'établissement est limité à 100 et le nombre total d'essais est limité à 158, quelles que soient les durées d'arc obtenues.

**6.111.10 Essais avec tension de rétablissement spécifiée**

En variante à l'utilisation des circuits d'essai décrits de 6.111.3 à 6.111.5, les essais d'établissement et de coupure peuvent être effectués en utilisant des circuits produisant une tension de rétablissement présumée conforme aux exigences suivantes:

- l'enveloppe de la tension d'essai de rétablissement présumée est définie par (voir Figure 54):

$$u'_c \geq u_c$$

$$t'_2 \leq t_2;$$

- de plus, la partie initiale de la tension de rétablissement présumée doit rester en dessous de la droite joignant l'origine au point, définie par  $u_1$  et  $t_1$ ;
- il convient de veiller à s'assurer que la tension de rétablissement réelle ne dépasse pas la tension d'essai théorique de l'essai direct en monophasé correspondant (courbe 1-cos) de plus de 6 % de la valeur de crête de la tension d'essai (c'est-à-dire environ 3 % de la tension de rétablissement crête  $u_c$  présentée à la Figure 54).

NOTE L'utilisation d'une résistance en série (6.111.5.2 et 6.111.5.3) dans le circuit de charge provoque un déphasage qui peut entraîner le dépassement de la limite indiquée ci-dessus. Dans ces cas, la valeur de la résistance peut être diminuée ou un circuit LR approprié peut être utilisé à la place (6.111.5.2 et 6.111.5.3).

Les valeurs spécifiées de  $u_1$ ,  $t_1$ ,  $u_c$  et  $t_2$  pour les essais en monophasé sont données au Tableau 32.

Pour les essais en triphasé, le même principe permet de définir la partie initiale de la tension de rétablissement du premier pôle qui coupe.

**Tableau 32 – Valeurs spécifiées de  $u_1$ ,  $t_1$ ,  $u_c$  et  $t_2$**

| Séquences d'essais                                                                                                                                                                                       | Valeurs de la tension de rétablissement de la Figure 54 en fonction de la valeur de crête de la tension d'essai |                     | Coordonnées de temps de la Figure 54                       |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                                                                                                                                                                                          | $u_c$<br>p.u.                                                                                                   | $u_1$<br>p.u.       | $t_1$                                                      | $t_2$             |
| 1                                                                                                                                                                                                        | $\geq 1,98$                                                                                                     | $\leq 0,02k_{af}^*$ | $\geq t_1$ ou $t_3$ de 6.104.5.1 pour le défaut aux bornes | 8,7 ms pour 50 Hz |
| 2                                                                                                                                                                                                        | $\geq 1,95$                                                                                                     | $\leq 0,05k_{af}^*$ |                                                            | 7,3 ms pour 60 Hz |
| NOTE Pour les essais avec une tension de rétablissement spécifiée, la tension de rétablissement présumée est calculée en se basant sur la tension d'essai correspondante d'un essai direct en monophasé. |                                                                                                                 |                     |                                                            |                   |
| * $k_{af}$ = facteur d'amplitude = 1,4 (voir Tableaux 24, 26 et 27) pour les disjoncteurs de classe S1 et pour les disjoncteurs de tension assignée comprise entre 100 kV et 800 kV inclus.              |                                                                                                                 |                     |                                                            |                   |
| $k_{af}$ = facteur d'amplitude = 1,5 (voir Tableau 26) pour les disjoncteurs de tension assignée supérieure à 800 kV.                                                                                    |                                                                                                                 |                     |                                                            |                   |
| $k_{af}$ = facteur d'amplitude = 1,54 (voir Tableau 25) pour les disjoncteurs de classe S2.                                                                                                              |                                                                                                                 |                     |                                                            |                   |

### 6.111.11 Critères de réussite des essais

#### 6.111.11.1 Généralités

Les disjoncteurs des classes individuelles doivent avoir été soumis aux essais avec succès si les conditions suivantes sont remplies:

- le comportement du disjoncteur pendant l'établissement et la coupure des courants capacitifs de toutes les séquences d'essais spécifiées remplit les conditions données en 6.102.8;
- l'état du disjoncteur après la série d'essais correspond aux conditions données en 6.102.9.4. Si aucun réamorçage n'est survenu durant les séquences d'essais 1 (LC1 ou CC1 ou BC1) et 2 (LC2 ou CC2 ou BC2), une inspection visuelle est suffisante.

Lorsque des essais combinés conformément à 6.111.9.1 sont effectués, les critères de réussite des essais s'appliquent à chaque combinaison de séquences d'essais 1 et 2 appropriée pour couvrir les caractéristiques assignées pour lesquelles les essais ont été réalisés.

#### **6.111.11.2 Performances pour la classe C1**

Le disjoncteur a été soumis aux essais avec succès si pas plus d'un réamorçage est survenu au cours des séquences d'essais complètes 1 (LC1 ou CC1 ou BC1) et 2 (LC2 ou CC2 ou BC2).

Si deux réamorçages sont survenus au cours des séquences d'essais complètes 1 et 2 pour LC, CC ou BC, les deux séquences d'essais doivent alors être répétées sur le même appareil sans aucune maintenance. Si pas plus d'un réamorçage supplémentaire ne se produit au cours de cette série d'essais additionnelle, le disjoncteur a subi les essais avec succès. Il ne doit se produire aucun contournement extérieur ni aucun contournement phase-terre.

Dans le cas d'essais combinés conformément à 6.111.9.1, le disjoncteur doit avoir été soumis à l'essai avec succès pour les caractéristiques assignées pour lesquelles une séquence d'essais 2 et une séquence d'essais 1 correspondante ont été effectuées avec moins de deux réamorçages au total. Lorsqu'en raison des réamorçages, les séquences d'essais doivent être répétées, l'ensemble affecté de paires de séquences d'essais (séquence d'essais 1 et séquence d'essais 2) doit être répété. Si dans plus d'une séquence d'essais 1, des réamorçages sont survenus, chacune d'entre elles doit être répétée avec une seule séquence d'essais 2. Si des réamorçages sont survenus uniquement dans la séquence d'essais 2, cette séquence d'essais et toutes les séquences d'essais 1 doivent être répétées.

#### **6.111.11.3 Performances pour la classe C2**

Le disjoncteur a été soumis aux essais avec succès si aucun réamorçage n'est survenu au cours des séquences d'essais complètes 1 et 2 pour LC, CC ou BC.

Si un réamorçage est survenu au cours des séquences d'essais complètes 1 (LC1 ou CC1 ou BC1) et 2 (LC2 ou CC2 ou BC2), les deux séquences d'essais doivent alors être répétées sur le même appareil sans aucune maintenance. Si aucun réamorçage supplémentaire ne survient au cours de cette série d'essais additionnelle, le disjoncteur a été soumis aux essais avec succès. Il ne doit se produire aucun contournement extérieur ni aucun contournement phase-terre.

Dans le cas d'essais combinés conformément à 6.111.9.1, le disjoncteur a été soumis à l'essai avec succès pour les applications ou caractéristiques assignées pour lesquelles une séquence d'essais 2 et une séquence d'essais 1 correspondante ont été effectuées sans réamorçage. Lorsqu'en raison des réamorçages, les séquences d'essais doivent être répétées, l'ensemble affecté de paires de séquences d'essais (séquence d'essais 1 et séquence d'essais 2) doit être répété. Si dans plus d'une séquence d'essais 1, un réamorçage est survenu, chacune d'entre elles doit être répétée avec une seule séquence d'essais 2. Si un réamorçage est survenu dans la séquence d'essais 2, cette séquence d'essais et toutes les séquences d'essais 1 doivent être répétées.

#### **6.111.11.4 Critères de reclassification en classe C1 des performances de classe C2**

Un disjoncteur ayant satisfait aux exigences de performance de classe C2 pour une séquence d'essais d'établissement et de coupure particulière (LC, CC, BC) peut être de classe C1 pour la même séquence, sans essais supplémentaires.

Un disjoncteur soumis aux essais conformément à la procédure d'essai de la classe C2, mais qui n'a pas atteint les performances de classe C2 peut être qualifié pour les performances de classe C1 si les exigences de 6.111.11.1 sont satisfaites et si la condition suivante est remplie:

- a) Essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide ou de courants de câbles à vide

Le nombre total de réamorçages au cours des essais d'établissement et de coupure de courants de lignes à vide (LC1 et LC2) ou des essais d'établissement et de coupure de courants de câbles à vide (CC1 et CC2) ne dépasse pas deux dans la première série de

manœuvres d'essai, c'est-à-dire 96 dans le cas d'essais en monophasé et 48 dans le cas d'essais en triphasé, voir 6.111.9.4.2 ou 6.111.9.4.3 respectivement. En cas d'un seul réamorçage au cours de la première série de manœuvres d'essai, une répétition de séries peut être effectuée conformément à 6.111.11.3. Le comportement du disjoncteur au cours des répétitions de séries n'est pas pertinent pour la reclassification. Si un réamorçage survient au cours de ces répétitions de séries, aucun essai supplémentaire n'est exigé.

b) Essais d'établissement et de coupure de courants de batterie de condensateurs

Le nombre total de réamorçages au cours des essais d'établissement et de coupure de courants de batterie de condensateurs (BC1 et BC2) ne dépasse pas cinq dans la première série de manœuvres, c'est-à-dire 168 dans le cas d'essais en monophasé et 104 dans le cas d'essais en triphasé, voir 6.111.9.4.4 ou 6.111.9.4.5 respectivement. En cas d'un seul réamorçage au cours de la première série de manœuvres d'essai, une répétition de séries peut être effectuée conformément à 6.111.11.3. Le comportement du disjoncteur au cours des répétitions de séries n'est pas pertinent pour la reclassification. Si un réamorçage survient au cours de ces répétitions de séries, aucun essai supplémentaire n'est exigé.

La procédure de reclassification est représentée aux Figures 55 et 56.

### 6.112.1 Disjoncteurs de classe E2 non prévus pour le cycle de refermeture automatique

Ajouter, à la fin de la dernière phrase du premier alinéa, l'expression suivante:

.... quelle que soit la séquence de manœuvres assignée

### 7.1 Essais diélectriques du circuit principal

Ajouter, à la fin du paragraphe, après le Tableau 34 existant, le texte suivant:

Dans le cas de disjoncteurs utilisant du gaz comprimé pour l'isolement, la pression du gaz au cours de l'essai diélectrique du circuit principal doit être réglée à la pression minimale pour la coupure et l'isolement. Dans le cas de systèmes à pression scellés, la pression du gaz doit être la pression assignée de remplissage pour la coupure et l'isolement.

Dans le cas de disjoncteurs utilisant un mélange gazeux tel que SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub> ou SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub>, l'essai peut être effectué en utilisant le mélange gazeux déclaré à la pression minimale pour la coupure et l'isolement ou du SF<sub>6</sub> pur à une pression absolue totale ne dépassant pas la pression de gaz équivalente ( $P_{\text{test}}$ ) calculée au moyen des équations suivantes (voir Figure 4.1 de CIGRE TB 163 [13]):

- pour les disjoncteurs utilisant un mélange SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub>:  $P_{\text{test}} = P_{\text{SF6}} + 0,7 \times P_{\text{add N}_2}$ . L'équation est valable pour les mélanges contenant au moins 30 % d'un volume de gaz SF<sub>6</sub>; (voir Note);
- pour les disjoncteurs utilisant un mélange SF<sub>6</sub>/CF<sub>4</sub>:  $P_{\text{test}} = P_{\text{SF6}} + 0,45 \times P_{\text{add CF4}}$ .

ou

$P_{\text{test}}$  est la pression absolue totale de SF<sub>6</sub> à  $T = 20$  °C au cours de l'essai diélectrique individuel de série du circuit principal;

$P_{\text{SF6}}$  est la pression partielle de SF<sub>6</sub> à  $T = 20$  °C à la pression minimale pour la coupure et l'isolement conforme au mélange gazeux déclaré;

$P_{\text{add}}$  est la pression partielle de CF<sub>4</sub> ou N<sub>2</sub> à  $T = 20$  °C à la pression minimale pour la coupure et l'isolement conforme au mélange gazeux déclaré.

NOTE Voir CIGRE TB 163 [13] pour les mélanges contenant moins de 30 % SF<sub>6</sub>.

Ajouter, après 7.1, le nouveau paragraphe suivant:

### 7.1.101 Mesurage des décharges partielles

Pour les disjoncteurs à cuve mise à la terre de tension assignée supérieure à 52 kV utilisant un matériau isolant solide relié à la terre, un mesurage des décharges partielles doit être effectué afin de détecter les éventuels défauts de matière et de fabrication à l'intérieur de ces pièces isolantes solides.

Il convient de préférence d'effectuer le mesurage des décharges partielles sur le disjoncteur complet. Dans ce cas, le mesurage des décharges partielles doit être effectué lors de l'essai diélectrique (7.1) et de préférence après les essais individuels de série comportant des manœuvres mécaniques (7.101).

S'il est impossible de soumettre aux essais le disjoncteur complet, il est admis de remplacer l'essai sur le disjoncteur complet par des mesurages des décharges partielles sur des composants individuels avant montage, tels que les traversées, les isolateurs, les cloisons, les bielles de commande isolées, etc. Pour les essais de décharges partielles sur les traversées, le paragraphe 9.4 de l'IEC 60137:2008 est applicable.

NOTE L'essai de décharges partielles sur les traversées est exigé pour tous les types de traversées, à l'exception des traversées à isolation gazeuse et des traversées constituées de céramique, de verre ou de matériaux inorganiques analogues, comme définies respectivement aux 3.6 et 3.11 de l'IEC 60137:2008.

Le mesurage doit être effectué conformément à l'IEC 60270.

La tension à fréquence industrielle appliquée doit être portée à une valeur de précontrainte qui est identique à la tension d'essai de tenue à fréquence industrielle et maintenue à cette valeur pendant 1 min. Les décharges partielles survenant pendant cette période doivent être ignorées. La tension doit ensuite être ramenée à la valeur définie au Tableau 50.

La tension d'extinction doit être enregistrée pendant la réduction de la tension d'essai appliquée spécifiée au Tableau 50.

**Tableau 50 – Tension d'essai pour l'essai de décharges partielles**

|                                                            | Disjoncteur ayant une valeur assignée $k_{pp} = 1,2$ ou $1,3$                                                                                                    |                                                                                    | Disjoncteur ayant une valeur assignée $k_{pp} = 1,5$ |                                                                                    |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                            | Tension de précontrainte<br>$U_{ps}$<br>(1 min)                                                                                                                  | Tension d'essai pour le mesurage des décharges partielles<br>$U_{pd}$<br>(> 1 min) | Tension de précontrainte<br>$U_{ps}$<br>(1 min)      | Tension d'essai pour le mesurage des décharges partielles<br>$U_{pd}$<br>(> 1 min) |
| Conceptions d'enveloppes monophasées (tension phase-terre) | $U_d$                                                                                                                                                            | $1,2 \times U_r / \sqrt{3}$                                                        | $U_d$                                                | $1,2 \times U_r$                                                                   |
| Conceptions d'enveloppes triphasées                        | $U_d$                                                                                                                                                            | $U_{pd, pe} = 1,2 \times U_r / \sqrt{3}$<br>$U_{pd, pp} = 1,2 \times U_r$          | $U_d$                                                | $U_{pd, pe} = 1,2 \times U_r$                                                      |
| $U_r$                                                      | tension de l'équipement.                                                                                                                                         |                                                                                    |                                                      |                                                                                    |
| $U_d$                                                      | tension d'essai de tenue à fréquence industrielle conformément aux Tableaux 1a, 1b, 2a ou 2b de l'IEC 62271-1:2007 pour les disjoncteurs à cuve mise à la terre. |                                                                                    |                                                      |                                                                                    |
| $U_{ps}$                                                   | tension de précontrainte.                                                                                                                                        |                                                                                    |                                                      |                                                                                    |
| $U_{pd}$                                                   | tension d'essai pour le mesurage des décharges partielles.                                                                                                       |                                                                                    |                                                      |                                                                                    |
| $U_{pd, pe}$                                               | tension d'essai pour le mesurage des décharges partielles, phase-terre.                                                                                          |                                                                                    |                                                      |                                                                                    |
| $U_{pd, pp}$                                               | tension d'essai pour le mesurage des décharges partielles, entre phases.                                                                                         |                                                                                    |                                                      |                                                                                    |

Le niveau de décharges partielles maximal admissible ne doit pas dépasser 10 pC pour les disjoncteurs à cuve mise à la terre à la tension d'essai spécifiée au Tableau 50.

### 7.101 Essais de fonctionnement mécanique

*Remplacer, dans l'alinéa commençant par «Le comportement mécanique doit être conforme...», «du prototype» par «de l'objet en essai».*

### 8.101 Généralités

*Remplacer la référence "4.105" relative aux «Caractéristiques assignées pour les défauts proches en ligne» par "6.109".*

#### 8.103.2 Choix de la tension transitoire de rétablissement (TTR) dans le cas de défauts aux bornes, du facteur de premier pôle qui coupe et des caractéristiques pour les défauts proches en ligne

*Remplacer, dans le premier alinéa, "4.102.2" par "6.104.6".*

*Remplacer la première phrase du deuxième alinéa au-dessous du point c) par ce qui suit:*

Les essais de défauts proches en ligne s'appliquent seulement pour les disjoncteurs connectés directement aux lignes aériennes et ayant une tension assignée supérieure ou égale à 15 kV et un pouvoir de coupure assigné en court-circuit supérieur à 12,5 kA (voir 4.105).

### 9.101 Renseignements à donner dans les appels d'offres et les commandes

*Remplacer, à la ligne 10) du point c), la référence "4.109" par "5.105".*

### 9.102 Renseignements à donner avec les soumissions

*Supprimer, à la ligne 10) du point a), le mot «assignées», et remplacer la référence "4.109" par "5.105".*

#### 10.2.102.3.2 Mesurage de la résistance des circuits principaux

*Ajouter, à la fin du paragraphe, la note suivante:*

NOTE Pour certaines conceptions, les mesurages de la résistance dynamique peuvent constituer un outil supplémentaire pour évaluer l'état du disjoncteur au cours de sa durée de vie.

#### Figure 1 – Oscillogramme type d'un cycle d'établissement-coupure en court-circuit triphasé

*Remplacer la figure existante par ce qui suit, sans modifier la légende à la Figure 1:*

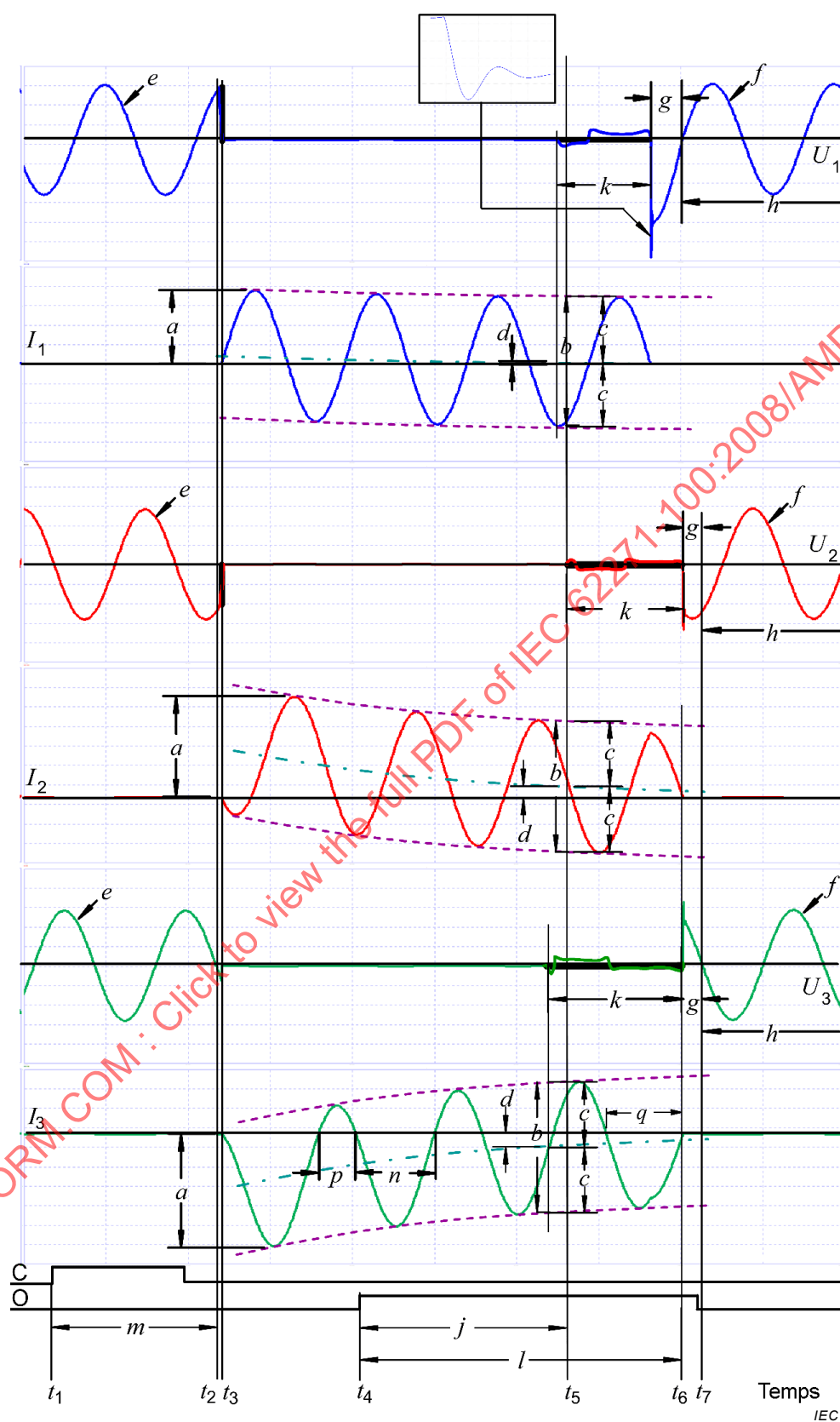


Figure 1 – Oscillogramme type d'un cycle d'établissement-coupe en court-circuit triphasé

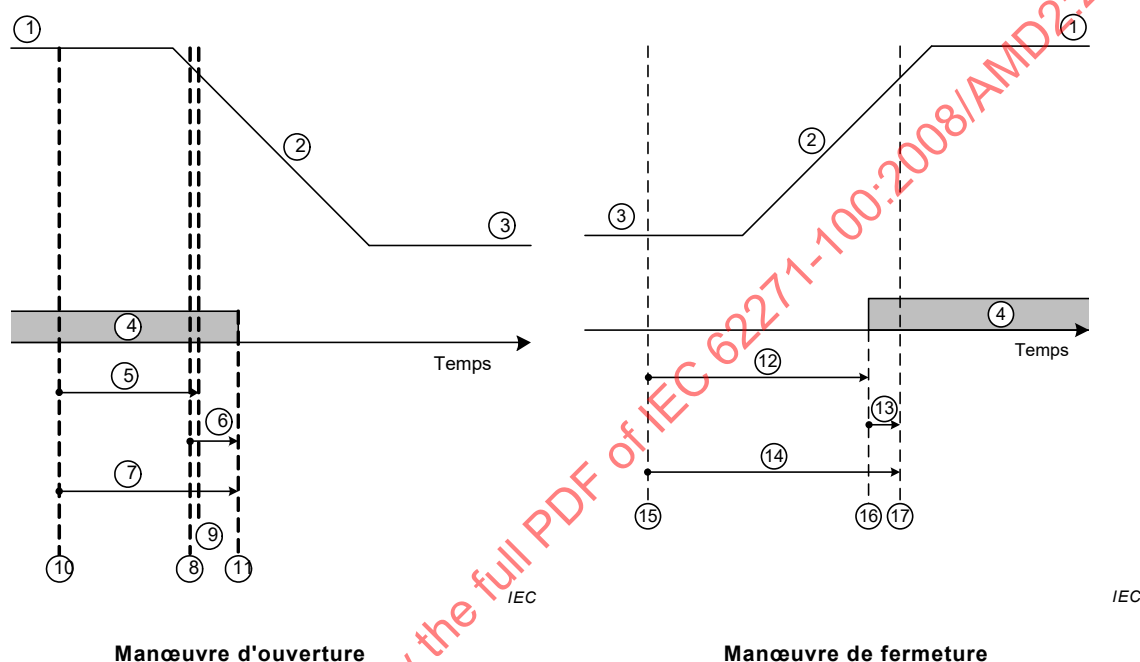
Remplacer, dans la légende de la Figure 1, les lignes pour  $t_2$ ,  $t_4$  et  $b$ , par ce qui suit:

- $t_2$  instant de perte de la rigidité diélectrique  
 $t_4$  instant de l'initialisation de la manœuvre d'ouverture  
 $b$  valeur crête à crête du courant coupé

Ajouter ce qui suit à la légende de la Figure 1:

$q$  grande alternance rallongée

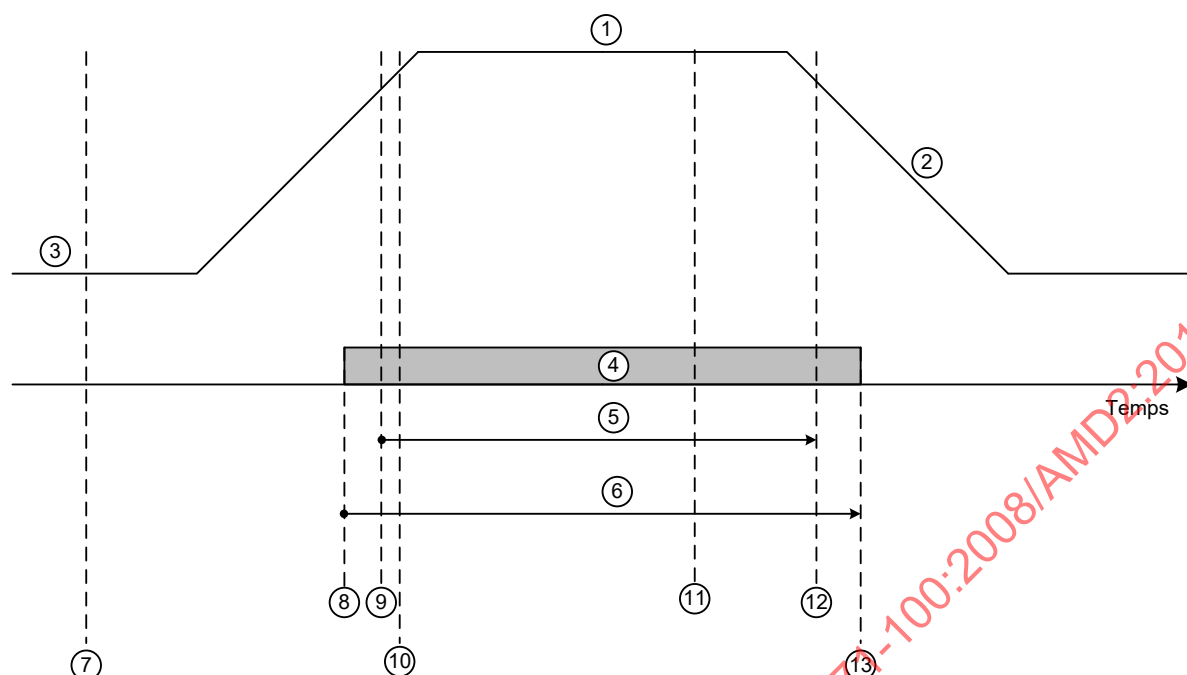
Remplacer les Figures 2 à 7 existantes par ce qui suit:



### Légende

|   |                                                                              |    |                                                                    |
|---|------------------------------------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------------|
| 1 | Position de fermeture                                                        | 10 | Instant de l'initialisation de la manœuvre d'ouverture, 3.7.161    |
| 2 | Déplacement des contacts                                                     | 11 | Instant de l'extinction finale de l'arc sur tous les pôles         |
| 3 | Position d'ouverture                                                         | 12 | Durée d'établissement, 3.7.137                                     |
| 4 | Circulation du courant                                                       | 13 | Durée de préarc, 3.7.138                                           |
| 5 | Durée d'ouverture, 3.7.133                                                   | 14 | Durée de fermeture, 3.7.136                                        |
| 6 | Durée d'arc totale, 3.7.162                                                  | 15 | Instant de l'initialisation de la manœuvre de fermeture, 3.7.161   |
| 7 | Durée de coupure, 3.7.135                                                    | 16 | Instant du début de la circulation du courant dans le premier pôle |
| 8 | Instant de la séparation des contacts d'arc dans le premier pôle qui s'ouvre | 17 | Instant auquel les contacts se touchent dans tous les pôles        |
| 9 | Instant de la séparation des contacts d'arc dans tous les pôles              |    |                                                                    |

**Figure 2 – Disjoncteur sans résistances intercalaires –  
Manœuvre d'ouverture et de fermeture**

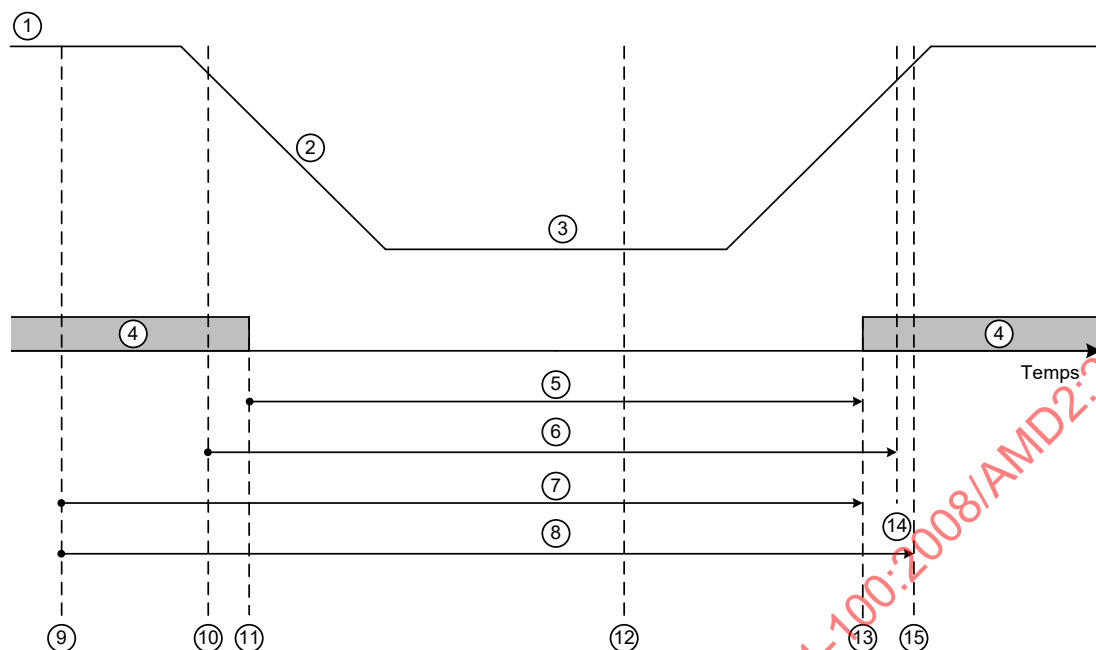


IEC

#### Légende

- |   |                                                                  |    |                                                                           |
|---|------------------------------------------------------------------|----|---------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Position de fermeture                                            | 8  | Instant du début de la circulation du courant dans le premier pôle        |
| 2 | Déplacement des contacts                                         | 9  | Instant auquel les contacts se touchent dans le premier pôle de fermeture |
| 3 | Position d'ouverture                                             | 10 | Instant auquel les contacts se touchent dans tous les pôles               |
| 4 | Circulation du courant                                           | 11 | Instant de l'initialisation de la manœuvre d'ouverture, 3.7.161           |
| 5 | Durée de fermeture-ouverture, 3.7.143                            | 12 | Instant de la séparation des contacts d'arc dans tous les pôles           |
| 6 | Durée d'établissement-coupeure, 3.7.144                          | 13 | Instant de l'extinction de l'arc dans tous les pôles                      |
| 7 | Instant de l'initialisation de la manœuvre de fermeture, 3.7.161 |    |                                                                           |

**Figure 3 – Disjoncteur sans résistances intercalaires – Cycle de fermeture-ouverture**



IEC

#### Légende

|   |                                         |    |                                                                                 |
|---|-----------------------------------------|----|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Position de fermeture                   | 9  | Instant de l'initialisation de la manœuvre d'ouverture, 3.7.161                 |
| 2 | Déplacement des contacts                | 10 | Instant de la séparation des contacts d'arc dans tous les pôles                 |
| 3 | Position d'ouverture                    | 11 | Instant de l'extinction finale de l'arc sur tous les pôles                      |
| 4 | Circulation du courant                  | 12 | Instant de l'initialisation de la manœuvre de fermeture, 3.7.161                |
| 5 | Durée de coupure-établissement, 3.7.140 | 13 | Instant du début de la circulation du courant dans le premier pôle de fermeture |
| 6 | Durée d'ouverture-fermeture, 3.7.139    | 14 | Instant auquel les contacts se touchent dans le premier pôle                    |
| 7 | Durée de rétablissement, 3.7.142        | 15 | Instant auquel les contacts se touchent dans tous les pôles                     |
| 8 | Durée de refermeture, 3.7.141           |    |                                                                                 |

**Figure 4 – Disjoncteur sans résistances intercalaires –  
Refermeture (refermeture automatique)**