

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE



**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 302: Alternating current circuit-breakers with intentionally non-simultaneous
pole operation**

**Appareillage à haute tension –
Partie 302: Disjoncteurs à courant alternatif à fonctionnement intentionnellement
non simultané des pôles**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

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

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE



**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 302: Alternating current circuit-breakers with intentionally non-simultaneous
pole operation**

**Appareillage à haute tension –
Partie 302: Disjoncteurs à courant alternatif à fonctionnement intentionnellement
non simultané des pôles**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XB

ICS 29.130.10

ISBN 978-2-88910-995-1

CONTENTS

FOREWORD.....	6
1 General	8
1.1 Scope.....	8
1.2 Normative references	9
2 Normal and special service conditions	9
3 Terms and definitions	9
3.1 General terms	9
3.2 Assemblies.....	9
3.3 Parts of assemblies	9
3.4 Switching devices.....	9
3.5 Parts of circuit-breakers	9
3.6 Operation	10
3.7 Characteristic quantities	10
4 Ratings.....	12
4.101 Rated making window of a circuit-breaker	12
4.102 Rated short-circuit making current	12
5 Design and construction	13
5.1 Requirements for liquids in circuit-breakers	13
5.2 Requirements for gases in circuit-breakers	13
5.3 Earthing of circuit-breakers.....	13
5.4 Auxiliary equipment	13
5.5 Dependent power closing.....	13
5.6 Stored energy closing	13
5.7 Independent manual operation.....	13
5.8 Operation of releases	14
5.9 Low- and high-pressure interlocking devices.....	14
5.10 Nameplates	14
5.11 Interlocking devices	14
5.12 Position indication	14
5.13 Degrees of protection by enclosures	14
5.14 Creepage distances.....	14
5.15 Gas and vacuum tightness.....	14
5.16 Liquid tightness	14
5.17 Flammability	14
5.18 Electromagnetic compatibility	14
5.19 X-ray emission.....	14
5.20 Corrosion.....	15
5.101 Simultaneity of poles during single closing and single opening operations	15
5.101.1 General guidance for circuit-breakers intended for operation with intentionally non-simultaneous poles.....	15
5.102 General requirement for operation	15
5.103 Pressure limits of fluids for operation.....	16
5.104 Vent outlets	16
6 Performance verification tests and parameter definition tests	16
6.1 General	17
6.2 Dielectric tests.....	18

6.3	Radio interference voltage (r.i.v.) tests	18
6.4	Measurement of the resistance of the main circuit	18
6.5	Temperature rise tests	18
6.6	Short-time withstand current and peak withstand current tests	18
6.7	Verification of the degree of protection	18
6.8	Tightness tests	18
6.9	Electromagnetic compatibility (EMC) tests	18
6.101	Mechanical and environmental tests	18
6.101.1	Reference mechanical travel characteristics	18
6.101.2	Measurement of the mechanical performance of the circuit-breaker	18
6.102	Miscellaneous provisions for making and breaking tests	26
6.102.1	Identical nature of units	26
6.102.2	Test duty T100a	26
6.103	Test circuits for short-circuit making and breaking tests	36
6.104	Short circuit-test quantities	36
6.104.1	Applied voltage before short-circuit making tests	36
6.104.2	Short-circuit making current	36
6.105	Short-circuit test procedure	36
6.106	Basic short-circuit test-duties	36
6.107	Critical current tests	36
6.108	Single-phase and double earth fault tests	36
6.109	Short-line fault tests	36
6.110	Out-of-phase making and breaking tests	37
6.111	Capacitive current switching tests	37
6.111.1	Test voltage	37
6.111.2	Test-duties	37
6.112	Special requirements for making and breaking tests on class E2 circuit-breakers	38
6.113	Determination of the rate of decay of dielectric strength	38
6.113.1	Applicability	38
6.113.2	General requirements	38
6.113.3	Measurements	39
6.113.4	Preferred test procedure	39
6.113.5	Alternative test procedure	39
6.114	Determination of the rate of rise of dielectric strength (RRDS)	39
6.115	Controlled closing test	40
6.115.1	Applicability	40
6.115.2	General requirements	40
6.115.3	Determination of the optimum target point	40
6.115.4	Characteristics of the power frequency supply circuit	40
6.115.5	Test procedure	41
7	Routine tests	41
8	Guide to the selection of circuit-breakers for service	41
9	Information to be given with enquiries, tenders and orders	42
10	Rules for transport, storage, installation, operation and maintenance	42
10.101	Commissioning of circuit-breakers for controlled switching	42
10.102	Maintenance of controlled switching accuracy	42

11 Safety.....	42
12 Influence of the product on the environment	42
Annex A (informative) Guidance upon the maximum timing difference between the instants of contact touch/contact separation of breaking units of the same pole for circuit-breakers intended for controlled switching	43
Annex B (informative) Guidance for the application of the results of parameter definition/combination tests.....	48
Annex C (informative) Testing of circuit-breakers with intentionally non-simultaneous poles taking into account controller failure	51
Annex D (informative) Simplified single-phase example showing the relationship between winding voltage, core flux and magnetizing current for a power transformer.....	54
Annex E (informative) An example of the effect of contact wear on RDDS	57
Annex F (informative) Examples to support the consideration of various operating conditions as independent of each other	58
Annex G (informative) Examples of the effect of idle time upon operating time.....	62
Bibliography.....	64
 Figure A.1 – RDDS versus voltage for closing with no unit spread and mechanical scatter of $\pm 1,0$ ms	44
Figure A.2 – RDDS versus voltage for closing with 1/8 cycle unit spread and mechanical scatter of $\pm 1,0$ ms.....	44
Figure A.3 – RRDS versus recovery voltage for no unit spread and $\pm 1,0$ ms mechanical scatter	46
Figure A.4 – RRDS versus recovery voltage for 2,5 ms unit spread and $\pm 1,0$ ms mechanical scatter	46
Figure C.1 – Recovery voltages for two different conditions during de-energising of an non-effectively earthed shunt capacitor bank	53
Figure D.1 – Relationship between voltage, flux and current in a steady state transformer	54
Figure D.2 – Example of flux asymmetry when closing at an unfavourable instant.....	55
Figure D.3 – Energising a transformer when prospective flux equals residual flux	55
Figure E.1 – Effect of contact wear on RDDS for a high voltage gas circuit-breaker	57
Figure F.1 – Closing time dependence on the external variables for spring operated gas circuit-breakers	59
Figure F.2 – Opening time dependence on the external valuables for pneumatically operated gas circuit-breakers.....	61
Figure G.1 – Idle time characteristics of high-voltage gas circuit-breakers with various mechanism types	63
 Table 1 – Required short-circuit peak making current factors for circuit-breakers with non-simultaneous pole closure for use in non-effectively earthed neutral systems	13
Table 2 – Tests for circuit-breakers not tested with dedicated controller.....	16
Table 3 – Tests for circuit-breakers tested with dedicated controller	17
Table 4 – Tests to assess the impact of control voltage	21
Table 5 – Last current loop parameters for 50 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a, staggered poles, $\tau = 45$ ms.....	28
Table 6 – Last current loop parameters for 50 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a, staggered poles, $\tau = 60$ ms.....	29

Table 7 – Last current loop parameters for 50 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a, staggered poles, $\tau = 75$ ms.....	30
Table 8 – Last current loop parameters for 50 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a, staggered poles, $\tau = 120$ ms.....	31
Table 9 – Last current loop parameters for 60 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a staggered poles, $\tau = 45$ ms.....	32
Table 10 – Last current loop parameters for 60 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a, staggered poles, $\tau = 60$ ms.....	33
Table 11 – Last current loop parameters for 60 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a, staggered poles, $\tau = 75$ ms.....	34
Table 12 – Last current loop parameters for 60 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a, staggered poles, $\tau = 120$ ms.....	35
Table C.1 – Possible controller failures and their implications for circuit-breaker stress	51

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

**Part 302: Alternating current circuit-breakers
with intentionally non-simultaneous pole operation**

FOREWORD

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

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC 62271-302, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 17A: High-voltage switchgear and controlgear, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
17A/888/DTR	17A/909/RVC

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

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

This standard is to be read in conjunction with IEC 62271-100:2008, to which it refers and which is applicable, unless otherwise specified. In order to simplify the indication of corresponding requirements, the same numbering of clauses and subclauses is used as in IEC 62271-100. Amendments to these clauses and subclauses are given under the same references, whilst additional subclauses are numbered from 101.

The committee has decided that the contents of this 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.

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.

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 302: Alternating current circuit-breakers with intentionally non-simultaneous pole operation

1 General

Clause 1 of IEC 62271-100 is applicable with the following modifications.

1.1 Scope

This part of IEC 62271 provides guidance on the design, construction, specification and testing of circuit-breakers with intentional non-simultaneous pole operation which are excluded from the scope of IEC 62271-100. In all other respects the scope of this technical report is identical to that of IEC 62271-100. This technical report provides supplementary information and guidance for this type of circuit-breaker and is intended to be used in conjunction with IEC 62271-100.

Intentional non-simultaneous pole operation may be implemented by mechanical or electrical means and both methods are within the scope of this technical report. Where the implementation is by purely electrical means, for example for independent pole operated circuit-breakers, adequate precautions should be taken in the application to prevent operation outside the proven capability of the circuit-breaker.

Circuit-breakers with intentional non-simultaneous pole operation are mainly used for the implementation of controlled switching, and this technical report primarily addresses the requirements of circuit-breakers for such applications. More detailed information regarding the use of controlled switching can be found in CIGRE Technical Brochures 262 [1]¹⁾, 263 [2] and 264 [3]. Requirements for associated protection and/or control facilities are not covered unless these form an integral part of the circuit-breaker.

This technical report considers two basic system configurations for achieving non-simultaneous operation:

- a circuit-breaker intended for non-simultaneous operation which is supplied and tested independent from any particular controller;
- a circuit-breaker intended for non-simultaneous operation with a dedicated controller (which may be integrated into the circuit-breaker) and necessary sensors and auxiliary equipment which form part of the tested equipment.

The basic requirements in each case are identical, however the interpretation of the test results depends upon whether the intended controller is included in the test programme. Further details on this aspect are incorporated into Clause 6 of this technical report.

For the purposes of this technical report, it has been assumed that there is no significant interaction between the effects of the various parameters (for example ambient temperature, control voltage etc) which are considered to affect the mechanical performance of the circuit-breaker. This has not been proven for all combinations however service experience with controlled switching suggests this assumption is valid in practice for most commonly used drive technologies. Annex F provides some examples in support of this assumption.

¹⁾ Figures in square brackets refer to the bibliography.

1.2 Normative references

No normative references are made in this technical report. The normative references of IEC 62271-100 apply and are used as necessary to supplement the guidance presented herein.

2 Normal and special service conditions

Clause 2 of IEC 62271-100 is applicable.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62271-100 as well as the following terms and definitions apply.

3.1 General terms

3.1.1 idle time

time between consecutive operations (either close or open) of a circuit-breaker during which the circuit-breaker remains static

3.1.2 compensation

predictive correction for changes in operating time taking account of ambient, drive and supply conditions

3.1.3 adaption

correction for changes in operating time based on past operating pattern

3.2 Assemblies

3.2.1 controlled switching system

combination of circuit-breaker, controller and necessary sensors and auxiliary equipment required to achieve controlled switching

NOTE Necessary sensors refers to those required to provide inputs to the controlled system and may include voltage transformers, current transformers, temperature sensors etc.

3.3 Parts of assemblies

No particular definitions.

3.4 Switching devices

No particular definitions.

3.5 Parts of circuit-breakers

No particular definitions.

3.6 Operation

3.6.1

controlled switching

operation of a switching device at a specific, pre-determined point in relation to the power frequency current or voltage

NOTE The terms point-on-wave switching and point-on-cycle switching are also in widespread use to describe controlled switching.

3.6.2

intentional non-simultaneous pole operation

operation of a circuit-breaker with a specific, pre-determined time delay or delays between the operation of the individual poles

NOTE Non-simultaneity is typically measured and expressed in milliseconds or electrical degrees with relation to the first pole to operate e.g. 0 ms, 0 ms, 5 ms or 0°, 0°, 90°.

3.6.3

mechanically staggered circuit-breaker

circuit-breaker with fixed, mechanically implemented, non-simultaneous pole operation

3.7 Characteristic quantities

When interpreting definition 3.7.133 (opening time), 3.7.136 (closing time) and 3.7.137 (make time) of IEC 62271-100, delays introduced by controlled switching equipment are excluded from the assessment of these quantities.

3.7.1

opening time (IEC 62271-100, 3.7.133 modified)

opening time of a circuit-breaker defined according to the tripping method as stated below and with any time delay device forming an integral part of the circuit-breaker adjusted to its minimum setting:

- a) for a circuit-breaker tripped by any form of auxiliary power, the interval of time between the instant of energising the opening release, the circuit-breaker being in the closed position, and the instant when the arcing contacts have separated in all poles;
- b) for a self-tripping circuit-breaker, the interval of time between the instant at which, the circuit-breaker being in the closed position, the current in the main circuit reaches the operating value of the overcurrent release and the instant when the arcing contacts have separated in all poles.

NOTE 1 The opening time may vary with the breaking current

NOTE 2 For circuit-breakers with more than one interrupting unit per pole, the instant when the arcing contacts have separated in all poles is determined as the instant of contact separation in the first unit of the last pole.

NOTE 3 The opening time includes the operating time of any auxiliary equipment necessary to open the circuit-breaker and forming an integral part of the circuit-breaker. Delays introduced by controlled switching equipment are excluded from the opening time.

NOTE 4 For circuit-breakers with mechanically staggered poles separate opening times should be quoted for each pole.

3.7.2

closing time

interval of time between energising the closing circuit, the circuit-breaker being in the open position, and the instant when the contacts touch in all poles

NOTE 1 The closing time includes the operating time of any auxiliary equipment necessary to close the circuit-breaker and forming an integral part of the circuit-breaker. Delays introduced by controlled switching equipment are excluded from the closing time.

NOTE 2 For circuit-breakers with mechanically staggered poles separate closing times should be quoted for each pole.

[IEC 62271-100, definition 3.7.136, modified]

3.7.3

make time

interval of time between energising the closing circuit, the circuit-breaker being in the open position, and the instant when the current begins to flow in the first pole

NOTE 1 The make time includes the operating time of any auxiliary equipment necessary to close the circuit-breaker and forming an integral part of the circuit-breaker. Delays introduced by controlled switching equipment are excluded from the make time.

NOTE 2 The make time may vary, for example due to the variation of the pre-arcing time.

[IEC 62271-100, definition 3.7.137, modified]

3.7.4

mechanical scatter

random statistical variation of the mechanical operating time of a circuit-breaker excluding the influence of external variables and the effect of long term wear and/or drift

NOTE For the purposes of this definition the term “external variables” includes all variables which might have a systematic effect on the operating time for example ambient temperature, operating pressure, control voltage.

3.7.5

rate-of-decay of dielectric strength (RDDS)

voltage withstand reduction as a function of time or contact gap during closing of a circuit-breaker

3.7.6

rate-of-rise of dielectric strength (RRDS)

voltage withstand increase as a function of time or contact gap during opening of a circuit-breaker

3.7.7

target point for closing

prospective instant of contact touch during a controlled closing operation

3.7.8

target point for making

prospective instant of current initiation during a controlled closing operation

3.7.9

target point for opening

prospective instant of contact separation during a controlled opening operation

3.7.10

making window

time interval around the target point for making

NOTE Making within a correctly chosen making window will lead to a pre-determined making voltage. For practical values of RDDS, the centre of the making window may not correspond to the target point for making.

3.7.11

closing window

time interval around the target point for closing

3.7.12

making voltage

voltage at which current is initiated during the close operation of a circuit-breaker

3.7.13

delta c , auxiliary (Δc_{aux})

time difference between the operation of the arcing contact and the operation of an auxiliary contact

4 Ratings

Clause 4 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition.

Rated characteristics to be given for circuit-breakers for operation with intentionally non-simultaneous poles

a) Rated making window

4.101 Rated making window of a circuit-breaker

The rated making window of a circuit-breaker is the making window that can be achieved reliably by the given circuit-breaker for a particular switching condition and over the full range of specified service conditions and the full range of specified drive and auxiliary supply conditions.

Preferred values are 2 ms, 3 ms and 4 ms.

The rated making window of a circuit-breaker is defined assuming proper compensation for systematic variables such as the effects of ambient temperature and control voltage.

The rated making window assessed in this way is an indication of the best controlled switching performance that can reliably be achieved with the given circuit-breaker. Service performance will also be affected by the performance of the associated control and compensation equipment.

4.102 Rated short-circuit making current

The following guidance should be used to supplement Subclause 4.103 of IEC 62271-100.

Circuit-breakers intended for non-simultaneous pole closure in non-effectively earthed neutral systems may, in the event of closing onto a three-phase fault, experience higher peak making conditions in comparison with the simultaneous closure case. The rated short-circuit making current should be defined taking into account the non-simultaneity.

As an example, the conditions associated with voltage zero closing in a non-effectively earthed neutral system are detailed in Table 1. The targeting angles are 0, 0 and +90 electrical degrees (hereafter referred to as °) for the three poles. In this case the short-circuit making rating of the circuit-breaker designed for non-simultaneous closing should be chosen from Table 1 taking into account the rated frequency and the specified dc time constant.

Table 1 – Required short-circuit peak making current factors for circuit-breakers with non-simultaneous pole closure for use in non-effectively earthed neutral systems

<i>X/R</i> value		Time constant (ms)	Peak making factor	
50 Hz	60 Hz		50 Hz	60 Hz
14	17	45	3,0	3,0
19	23	60	3,0	3,1
24	28	75	3,1	3,1
38	45	120	3,2	3,2

NOTE 1 For circuit-breakers intended to be used for voltage zero closing in effectively earthed neutral systems no enhanced making current will exist however full asymmetry will be developed in each phase when closing onto a pre-existing fault.

NOTE 2 Equipment connected in series with the circuit-breaker will also be exposed to enhanced peak currents if they occur.

5 Design and construction

Clause 5 of IEC 62271-100 is applicable with the additions indicated below.

5.1 Requirements for liquids in circuit-breakers

Subclause 5.1 of IEC 62271-100 is applicable.

5.2 Requirements for gases in circuit-breakers

Subclause 5.2 of IEC 62271-100 is applicable.

5.3 Earthing of circuit-breakers

Subclause 5.3 of IEC 62271-100 is applicable.

5.4 Auxiliary equipment

Subclause 5.4 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition:

Any auxiliary equipment incorporated for the purposes of controlled closing should not compromise the operation of the anti-pumping functionality.

5.5 Dependent power closing

Subclause 5.5 of IEC 62271-100 is applicable.

5.6 Stored energy closing

Subclause 5.6 of IEC 62271-100 is applicable.

5.7 Independent manual operation

Subclause 5.7 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition:

NOTE Circuit-breakers tested in accordance with this report and intended to be used with a controller should be able to operate on an occasional basis without suffering damage under conditions where the controller is bypassed i.e. uncontrolled operations. However, such operations may have unacceptable power system implications.

5.8 Operation of releases

Subclause 5.8 of IEC 62271-100 is applicable.

5.9 Low- and high-pressure interlocking devices

Subclause 5.9 of IEC 62271-100 is applicable.

5.10 Nameplates

The following guidance should be used to supplement Subclause 5.10 of IEC 62271-100.

The nameplates of mechanically staggered circuit-breakers intended for non-simultaneous pole operation should indicate the intended time delay between poles for opening and/or closing.

The nameplates of circuit-breakers intended for controlled closing should indicate the rated making window.

Circuit-breakers tested in accordance with this technical report should make specific reference to this report on their nameplates.

5.11 Interlocking devices

Subclause 5.11 of IEC 62271-100 is applicable.

5.12 Position indication

Subclause 5.12 of IEC 62271-100 is applicable.

5.13 Degrees of protection by enclosures

Subclause 5.13 of IEC 62271-100 is applicable.

5.14 Creepage distances

Subclause 5.14 of IEC 62271-100 is applicable.

5.15 Gas and vacuum tightness

Subclause 5.15 of IEC 62271-100 is applicable.

5.16 Liquid tightness

Subclause 5.16 of IEC 62271-100 is applicable.

5.17 Flammability

Subclause 5.17 of IEC 62271-100 is applicable.

5.18 Electromagnetic compatibility

Subclause 5.18 of IEC 62271-100 is applicable.

5.19 X-ray emission

Subclause 5.19 of IEC 62271-100 is applicable.

5.20 Corrosion

Subclause 5.20 of IEC 62271-100 is applicable.

5.101 Simultaneity of poles during single closing and single opening operations

Subclause 5.101 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition:

5.101.1 General guidance for circuit-breakers intended for operation with intentionally non-simultaneous poles

5.101.1.1 Single-pole operated circuit-breakers intended for controlled switching

For single-pole operated circuit-breakers intended for controlled switching, the same pole spread requirements as for circuit-breakers not intended for controlled switching will apply, since the intentional non-simultaneity will be introduced electronically by the controller. However, the operational conditions of the combination of controller and circuit-breaker and the actual application will determine the required test conditions.

For circuit-breakers intended to be used for controlled closing, the intended non-simultaneity for closing, achieved by the controller, should be used for determination of the short-circuit making test conditions.

For circuit-breakers intended to be used for controlled de-energisation of capacitor banks and with settings intended to minimise the re-strike probability, the voltage multiplying factors defined by 6.111.1 will apply.

5.101.1.2 Three-pole operated circuit-breakers intended for controlled switching

The manufacturer should declare the intended pole operating sequence of the circuit-breaker for both opening and closing. The intended non-simultaneity and the associated tolerances should be declared.

The declared non-simultaneity for closing should be used to determine the short-circuit making test conditions.

For circuit-breakers intended to be used for controlled de-energisation of capacitor banks and with settings intended to minimise the re-strike probability, the voltage multiplying factors defined by 6.111.1 will apply.

5.101.1.3 Time spread between breaking units of the same pole.

If the circuit-breaker consists of more than one breaking unit per pole the maximum time discrepancy between the units at closing and/or opening should be stated and considered when determining the total RDDS and/or the RRDS and thus the targets. The non-simultaneity of the individual units should not exceed one sixteenth (6,25 %) of a cycle of the rated frequency.

NOTE Circuit-breakers with greater non-simultaneity between units of one pole may be suitable for controlled switching purposes and in such cases determination of the acceptable parameters (e.g. RDDS) shall be by agreement between manufacturer and user.

Further guidance on the effects of time discrepancy between units of the same pole can be found in Annex A.

5.102 General requirement for operation

Subclause 5.102 of IEC 62271-100 is applicable.

5.103 Pressure limits of fluids for operation

Subclause 5.103 of IEC 62271-100 is applicable.

5.104 Vent outlets

Subclause 5.104 of IEC 62271-100 is applicable.

6 Performance verification tests and parameter definition tests

Clause 6 of IEC 62271-100 is applicable with the following additions:

The specific tests for circuit-breakers with intentionally non-simultaneous poles are listed in Tables 2 and 3. These tests are variously categorised as performance verification tests, combination tests or parameter definition tests.

Parameter definition tests are those tests which are undertaken to establish the operating characteristics of a circuit-breaker that have a direct impact upon its application for controlled switching. These tests do not have well defined pass/fail criteria but result in data that can be used to characterise the circuit-breaker. The results of these tests should be supplied to the user upon request.

Combination tests are those tests undertaken to prove the ability of a circuit-breaker and its dedicated controller to meet their specified design criteria, for example mechanical accuracy over a range of environmental conditions where compensation is applied. As such well defined pass/fail criteria can be applied.

In most cases combination test procedures are identical, or very closely aligned, to parameter definition test procedures with the main variation being the interpretation of the results.

Further information regarding the interpretation of the results of the parameter definition and combination test results is given in Annex B.

It is not the intention of this technical report to require repeated testing for parameter definition and combination test purposes. With this in mind, and since it will normally be necessary for circuit-breaker manufacturers to undertake parameter definition tests to assess the suitability of a circuit-breaker design for controlled switching, every effort should be made to ensure that maximum use is made of the parameter definition tests by users for their technical assessments. Thus, in most cases of supply of new controlled switching equipment (circuit-breaker and controller) from a common supplier, the approach outlined in Table 2 should be adopted with separate assessment of the compensation capabilities and compatibility of the controller.

The combination test approach of Table 3 is of particular use for application to pre-existing equipment or where a controlled switching system is being assembled from sub-components from various sources for which the basic operating parameter information is not well defined.

Table 2 – Tests for circuit-breakers not tested with dedicated controller

Type Performance verification tests dependant upon application, rating or design	Condition requiring performance verification test	Clauses
Test duty T100a	Controlled closing at voltage zero	6.102.2
Short-circuit making current	Controlled closing at voltage zero in non-effectively earthed neutral systems	6.104.2
Capacitive current switching tests	Capacitive switching rating assigned	6.111

Type Performance verification tests dependant upon application, rating or design	Condition requiring performance verification test	Clauses
Controlled closing test	Any application of controlled switching	6.115
Parameter definition tests		Clauses
Measurement of mechanical scatter		6.101.2.1
Impact of control voltage		6.101.2.4
Impact of low temperature		6.101.2.5
Impact of high temperature		6.101.2.6
Impact of stored energy level		6.101.2.7
Impact of idle time		6.101.2.8
Impact of gas density on operating time		6.101.2.9
Determination of the rate of decay of dielectric strength		6.113
Determination of the rate of rise of dielectric strength		6.114

Table 3 – Tests for circuit-breakers tested with dedicated controller

Performance verification tests dependant upon application, rating or design	Condition requiring performance verification test	Clauses
Test duty T100a	Controlled closing at voltage zero	6.102.2
Short-circuit making current	Controlled closing at voltage zero in non-effectively earthed neutral systems	6.104.2
Capacitive current switching tests	Capacitive switching rating assigned	6.111
Controlled closing test	Any application of controlled switching	6.115
Parameter definition tests		Clauses
Measurement of mechanical scatter		6.101.2.1
Combination tests		
Impact of control voltage		6.101.2.4
Impact of low temperature		6.101.2.5
Impact of high temperature		6.101.2.6
Impact of stored energy level		6.101.2.7
Impact of idle time		6.101.2.8
Impact of gas density on operating time		6.101.2.9

NOTE For circuit-breaker designs where the gas for insulation and/or interruption also has a significant influence on the mechanical operating characteristics (e.g. gas drive circuit-breakers) the tests detailed in 6.101.2.7 and 6.101.2.9 must be considered in combination.

6.1 General

This technical report introduces the concept of combination tests i.e. the conjunctive testing of a circuit-breaker, controller and the associated auxiliary systems to confirm accuracy over a range of environmental and drive conditions.

Each combination test should be undertaken by variation of a single parameter (for example control voltage). All other compensation facilities should remain enabled with non-varying inputs during the test. Adaption facilities should remain enabled where appropriate feedback

signals are available for example from auxiliary switches. Where appropriate feedback cannot be achieved during the tests, adaption facilities should be disabled such that they do not affect the results of the test. The controller should be provided with a suitable reference signal against which the accuracy of the operations is measured.

For controlled switching systems with adaptive functionality requiring electrical feedback from the primary current or voltage, special test circuits may be required for the combination tests.

6.2 Dielectric tests

Subclause 6.2 of IEC 62271-100 is applicable.

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

Subclause 6.3 of IEC 62271-100 is applicable.

6.4 Measurement of the resistance of the main circuit

Subclause 6.4 of IEC 62271-100 is applicable.

6.5 Temperature rise tests

Subclause 6.5 of IEC 62271-100 is applicable.

6.6 Short-time withstand current and peak withstand current tests

Subclause 6.6 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition.

NOTE Enhanced peak currents which may result from controlled closing in non-effectively earthed neutral systems will also impact upon equipment connected in series with the circuit-breaker.

6.7 Verification of the degree of protection

Subclause 6.7 of IEC 62271-100 is applicable.

6.8 Tightness tests

Subclause 6.8 of IEC 62271-100 is applicable.

6.9 Electromagnetic compatibility (EMC) tests

Subclause 6.9 of IEC 62271-100 is applicable.

6.101 Mechanical and environmental tests

Subclause 6.101 of IEC 62271-100 is applicable with the following additions.

6.101.1 Reference mechanical travel characteristics

Subclause 6.101.1.1 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition:

For mechanically staggered circuit-breakers the reference mechanical travel characteristic of the individual poles may vary. In such cases the reference mechanical travel characteristic should be measured on a per pole basis.

6.101.2 Measurement of the mechanical performance of the circuit-breaker

The closing and opening times and their variation as a function of ambient air temperature, idle time, control voltage, gas density and stored energy level (where applicable) should be

determined. Only the variable under investigation should be varied during any test sequence. All remaining variables should be maintained at a stable value for the duration of the test sequence.

For determination of the target settings for controlled switching it is important that the mechanical operating times are correctly measured. Measurement techniques which are adequate for non-controlled switching applications may be insufficiently accurate for controlled switching. Accurate measuring techniques should be applied during laboratory testing, production/routine testing and at site during commissioning and maintenance.

Dynamic effects such as contact bounce may be important and it is recommended that there is no “filtering” of the measured signal. Such signal filtering may eliminate the earliest point of contact touch/separation and as such create a false opening/closing time characteristic.

Depending upon the contact system employed, and particularly the configuration of the arcing contacts or arcing rings, techniques such as dynamic resistance measurement or the use of dedicated test equipment may be applicable.

In the case of combination tests the supplier should declare the expected mean operating time of the system under test for each of the required test conditions. The variation between the declared and the measured mean operating time should be determined.

6.101.2.1 Measurement of mechanical scatter of main contacts, auxiliary contacts and position sensors

Circuit-breaker main contacts, auxiliary contacts and position sensors which are intended to be used for position feedback in a controlled switching scheme, should be tested to prove their accuracy and repeatability. The mechanical scatter is a random function of the circuit-breaker alone and cannot be compensated for by a controller. Furthermore, controller scatter is expected to be negligible in comparison with circuit-breaker scatter. On this basis the tests of this clause should always be undertaken on the circuit-breaker alone or on the circuit-breaker with the controller disabled.

NOTE In the event that the controller is an integral part of the circuit-breaker and cannot be disabled these tests may be undertaken with the controller in service.

Measurement of the mechanical scatter should be undertaken under stable conditions of all influencing variables (such as temperature, control voltage, gas density and stored energy level).

The measurement of mechanical scatter of the circuit-breaker and auxiliary switch and sensor operating time should be combined with the normal mechanical operations test sequence described in Subclause 6.101.2 of IEC 62271-100.

Where no dedicated auxiliary contact(s) is identified for controlled switching purposes, testing should be performed on at least three auxiliary contacts (normally open) selected to represent the beginning, the end and intermediate position of the auxiliary contact array. Where a dedicated switch or sensor is used only this item need be tested.

The control voltage should be regulated within $\pm 3\%$ of the specified value and the voltage drop measured at the coil terminals during the test should not exceed 5 % of the rated value.

The gas density (where applicable) should be the rated value. For circuit-breakers with more than one rated value of gas density testing at one value is sufficient to cover all cases.

NOTE 1 It is assumed that variations in rated gas density do not significantly affect the scatter of the circuit-breaker.

Where relevant, the stored energy level for each test operation should be recorded in the test report.

The test sequence should be as follows:

- a) The circuit-breaker should be operated 100 times at rated control voltage and rated drive pressure and the operation of the main contact should be recorded with a suitable transient recorder. For each operation Δc_{aux} of each auxiliary contact should be measured and recorded. This sequence should be repeated both for closing and for opening operations.
- b) Sequence (a) should be repeated using a control voltage not greater than the minimum rated closing coil voltage (NOTE 2).
- c) Where relevant, sequence (a) should be repeated using the minimum stored energy level for a closing operation.

NOTE 2 It is assumed that the minimum rated voltage for control equipment is the same as the minimum rated voltage for closing coils. It is therefore unnecessary to test the mechanical accuracy of the circuit-breaker at lower voltages for example at the minimum opening voltage.

NOTE 3 It is assumed that external variables such as temperature do not significantly affect the value of Δc_{aux} and that no further testing of this parameter is required during other test sequences defined in this technical report

The test sequences should be performed on the circuit-breaker at the beginning and at the end of the mechanical operations test without requiring additional operations.

The maximum, minimum and mean operating times of the main contacts measured under each test condition and the associated standard deviations (σ) should be tabulated and reported.

The $\pm 3\sigma$ interval calculated from the test results should be not greater than the closing time interval defined by the rated making window however, for practical purposes the accuracy must be greater in order to take account of the effects of other variables.

For each auxiliary contact under test the maximum, minimum and mean value of Δc_{aux} over each 100 operations should be determined and reported.

6.101.2.2 Measurement of the impact of electrical wear on the accuracy of auxiliary contacts and position sensors

The time displacement between the main and auxiliary contacts should be measured before and after not less than 3 short-circuit interruptions at a current of not less than the relevant T60 value. This measurement may be incorporated into the RDDS test detailed in 6.113 but may also be carried out as part of normal short-circuit tests or capacitive switching tests where pre-conditioning is required.

The results should be tabulated and reported.

6.101.2.3 Measurement of unit displacement

The time displacement between each unit of a multi-unit circuit-breaker pole should be measured for the circuit-breaker in new condition.

The results should be tabulated and reported.

Guidance on the impact of unit spread is presented in Annex A.

NOTE Significant spread between units is not expected to occur for circuit-breakers with a single drive per pole however where multiple drives are used significant variations may occur.

6.101.2.4 Impact of control voltage

The impact of control voltage may be assessed on a circuit-breaker (parameter definition test) or on a circuit-breaker with dedicated controller (combination test). In both cases the basic test procedure is identical, as detailed in Subclause 6.101.2 of IEC 62271-100.

6.101.2.4.1 Test procedure

Measurement of the impact of the control voltage on the operating time should be undertaken under stable conditions of all other influencing variables for example temperature and drive pressure (if adjustable). For ease of testing it is recommended that these measurements be taken in conjunction with the mechanical operations test of the circuit-breaker as defined in IEC 62271-100.

The control voltage applied to the circuit-breaker (and controller) should be varied between its specified maximum and minimum value (Table 4). The characteristic operating time for each test voltage level should be the mean of the measured values.

Table 4 – Tests to assess the impact of control voltage

Type of operation	Voltage level	Number of operations
Opening	Minimum control voltage (70 %)	30 consecutive operations
	Rated control voltage (100 %)	30 consecutive operations
	Maximum control voltage (110 %)	30 consecutive operations
	Additional level (85 %)	30 additional operations
Closing	Minimum control voltage (85 %)	30 consecutive operations
	Rated control voltage (100 %)	30 consecutive operations
	Maximum control voltage (110 %)	30 consecutive operations
	Additional level (93 %)	30 additional operations

The mean value of the operating times for each breaking unit should be calculated based on a minimum of 30 consecutive operations at each voltage level (minimum, rated and maximum) from the standard mechanical endurance test.

The control voltage should be regulated within ± 3 % of the specified value and the voltage drop measured at the coil terminals during the test should not exceed 5 % of the rated value.

The voltage should be measured on the terminals of the operating mechanism or, where the design precludes this, as close to the mechanism as reasonable practicable.

6.101.2.4.2 Test results

The maximum, minimum and mean operating times measured under each test condition and the associated standard deviations should be tabulated and reported. In the case of combination tests the difference between the declared mean operating time and the measured mean operating time for each test condition should also be reported.

6.101.2.5 Impact of low temperature

The impact of low temperature may be assessed on a circuit-breaker (parameter definition test) or on a circuit-breaker with dedicated controller (combination test). In both cases the basic test procedure is identical, as detailed in 6.101.2.5.1.

6.101.2.5.1 Test procedure

For the low temperature stability test Subclause 6.101.3.3 of IEC 62271-100 is applicable with the additional condition that, for circuit-breakers having staggered poles to achieve the intended non-simultaneity, the tests may be performed on a circuit-breaker having a similar non-staggered design.

The ambient air temperature should be decreased to the appropriate, minimum value according to the intended service conditions of the circuit-breaker.

If the low temperature test is performed immediately after the high temperature test described in Subclause 6.101.3.3 of IEC 62271-100, items (a) and (b) below are omitted.

- a) The circuit-breaker under test should be adjusted in accordance with the manufacturer's instruction.
- b) The opening and closing times should be recorded during 10 opening and 10 closing operations at an ambient air temperature of $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (T_A). The characteristic operating times for opening and closing at this ambient air temperature should be calculated as the mean value of these operations.
- c) With the circuit-breaker in the closed position the ambient air temperature should be decreased by temperature steps of $\leq 15^{\circ}\text{C}$ until the appropriate, minimum ambient air temperature (T_L) is reached. At each temperature step the circuit-breaker should be kept in the closed position until the circuit-breaker has stabilised thermally. For measurements at the minimum temperature the heater supplies should remain energised.
- d) At each temperature step 10 opening and 10 closing operations should be made and the operating times should be recorded. The characteristic operating times at each temperature step for opening and closing should be calculated as the mean value of the operations.
- e) The air temperature should be increased to ambient air temperature T_A .
- f) After the circuit-breaker has stabilised thermally at ambient temperature T_A , a recheck should be made of the circuit-breaker operating characteristics as in item (b) for comparison with the initial characteristics.

The first operation at each temperature level should be excluded from the calculation of the characteristic operating time in order to eliminate idle time effects from the calculation.

NOTE The use of only 10 operations to establish the operating characteristics has limited statistical validity however it is considered to be sufficiently accurate to determine the relationship between operating time and ambient temperature. In case of doubt larger numbers of operations may be undertaken to improve the statistical validity.

6.101.2.5.2 Test results

The maximum, minimum and mean operating times measured under each test condition and the associated standard deviations should be tabulated and reported. In the case of combination tests the error between the declared expected mean operating time and the measured mean operating time for each test condition should also be reported.

6.101.2.6 Impact of high temperature

The impact of high temperature may be assessed on a circuit-breaker (parameter definition test) or on a circuit-breaker with dedicated controller (combination test). In both cases the basic test procedure is identical as detailed in 6.101.2.6.1.

6.101.2.6.1 Test procedure

For the high temperature stability tests Subclause 6.101.3.4 of IEC 62271-100 is applicable with the additional condition that, for circuit-breakers having staggered poles to achieve the

intended non-simultaneity, the tests may be performed on a circuit-breaker having a similar non-staggered design.

For convenience of testing the high temperature stability test can be made as part of the “uncontrolled” phase of heating (n) of the high temperature tests described in 6.101.3.4 of IEC 62271-100.

If the high temperature test is performed immediately after the low temperature test described in Subclause 6.101.3.3 of IEC 62271-100 items (a) and (b) below are omitted.

- a) The circuit-breaker under test should be adjusted in accordance with the manufacturer’s instruction.
- b) The opening and closing times should be recorded during 10 opening and 10 closing operations at an ambient air temperature of $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (T_A). The characteristic operating times for opening and closing at this ambient air temperature should be calculated as the mean value of these operations.
- c) With the circuit-breaker in the closed position the ambient air temperature should be increased by temperature steps of $\leq 15^{\circ}\text{C}$ to the appropriate, maximum ambient air temperature (T_H), according to the upper limit of the air temperature. At each temperature step the circuit-breaker should be kept in the closed position until the circuit-breaker has stabilised thermally.
- d) 10 opening and 10 closing operations should be made and the operating times should be recorded. The characteristic operating times at each temperature step for opening and closing should be calculated as the mean value of the operations.
- e) The air temperature should be decreased to ambient air temperature T_A .
- f) After the circuit-breaker has stabilised thermally at ambient temperature T_A , a recheck should be made of the circuit-breaker operating characteristics as in item (b) for comparison with the initial characteristics.

The first operation at each temperature level should be excluded from the calculation of the characteristic operating time in order to eliminate idle time effects from the calculation.

NOTE The use of only 10 operations to establish the operating characteristics has limited statistical validity however it is considered to be sufficiently accurate to determine the relationship between operating time and ambient temperature. In case of doubt larger numbers of operations may be undertaken to improve the statistical validity.

6.101.2.6.2 Test results for parameter definition test

The maximum, minimum and mean operating times measured under each test condition and the associated standard deviations should be tabulated and reported. In the case of combination tests the error between the declared expected mean operating time and the measured mean operating time for each test condition should also be reported.

6.101.2.7 Impact of stored energy level for operation

The impact of stored energy may be assessed on a circuit-breaker (parameter definition test) or on a circuit-breaker with dedicated controller (combination test). In both cases the basic test procedure is identical as detailed in Subclause 6.101.2.7.1.

6.101.2.7.1 Test procedure

Measurement of the impact of stored energy level should be undertaken under stable conditions of all other influencing variables, for example temperature and control voltage.

For mechanisms which are able to operate over a range of stored energy conditions, for example pressurised fluid based mechanisms, the impact of variations in stored energy level should be measured.

The stored energy level of the circuit-breaker mechanism should be varied between its maximum and minimum value in not less than 5 equal steps. At each level the operating time of the circuit-breaker should be measured during 30 opening operations and 30 closing operations. The characteristic operating time for each test pressure should be the mean of the measured values.

6.101.2.7.2 Test results

The maximum, minimum and mean operating times measured under each test condition and the associated standard deviations should be tabulated and reported. In the case of combination tests the error between the declared expected mean operating time and the measured mean operating time for each test condition should also be reported.

6.101.2.8 Impact of idle time

The impact of idle time may be assessed on a circuit-breaker (parameter definition test) or on a circuit-breaker with dedicated controller (combination test). In both cases the basic test procedure is identical as detailed in 6.101.2.8.1.

6.101.2.8.1 Test procedure

The impact of idle time upon the operating times (opening and closing) of the circuit-breaker should be measured by performing a sequence of no load operations under rated conditions of auxiliary supply voltage, functional pressure of the interrupting medium, and functional pressure (stored energy level) for operation (if applicable). The ambient environmental conditions during the test should be stable such that the effects of temperature upon the operating time can be excluded. Where such stability cannot be achieved reference should be made to the results of the high and low temperature tests to eliminate, as far as possible, systematic temperature effects from the results of the idle time test.

The use of alternative arrangements of the circuit-breaker is acceptable provided that the relevant conditions of Subclause 6.101.3.1 of IEC 62271-100 are met.

NOTE 1 It is recognised that it is difficult to distinguish between small idle time effects and normal mechanical scatter. However, the proposed test procedure should be sufficient to identify major idle time effects which may be of importance for satisfactory application of controlled switching.

The influence of each idle time required by the test procedure below should be assessed from at least six measurements. This may be achieved by using one or more test samples in order to reduce the overall testing time.

The test procedure considers idle times of up to one week. This is considered to be the longest time for which a “regularly operated” circuit-breaker might be left idle during normal service. Circuit-breakers which are intended for controlled switching but which are intended to be operated only infrequently should be subject to an extended test procedure to be agreed between manufacturer and user.

Auxiliary conditioning equipment such as heaters should be energised as per normal service.

At commencement of the test the characteristic operating times of the circuit-breaker, as declared by the manufacturer, should be verified by means of at least 5 opening and 5 closing operations.

The circuit-breaker should be left in the open position, and separately in the closed position for idle times of approximately:

- 1 h;
- 2 h;
- 4 h;

- 8 h;
- 16 h;
- 32 h;
- 64 h;
- 168 h.

After each idle time period, the circuit-breaker should be operated (opening or closing) and the operating time for the first operation should be measured and recorded. The deviation from the reference operating time should be calculated and recorded. A further 5 operating cycles (closing and opening) should then be undertaken and the operating times measured and recorded.

For convenience of testing the order of the idle time periods and the order of the required operations (closing or opening) after each idle time period is optional.

NOTE 2 For example the test starts with an idle time period of 8 hours at 7 a.m. followed by the first mechanical operations at 3 p.m. The circuit-breaker is idle again for a period of 16 hours until 7 a.m. the next morning followed by the second mechanical operation.

NOTE 3 Examples of idle time testing results are presented, for information, in Annex G.

NOTE 4 It may be useful to measure the contact speed in addition to operating time in order to distinguish between latching effects at the start of travel and changes to the contact travel characteristic.

NOTE 5 In certain cases e.g. for circuit-breakers intended for controlled line re-closing, it may be more appropriate to replace the simple open operations in the above sequence with open-close sequences.

6.101.2.8.2 Test results

The maximum, minimum and mean operating times measured under each test condition and the associated standard deviations should be tabulated and reported. In the case of combination tests the error between the declared expected mean operating time and the measured mean operating time for each test condition should also be reported.

6.101.2.9 Impact of gas density for interruption

The impact of gas density may be assessed on a circuit-breaker (parameter definition test) or on a circuit-breaker with dedicated controller (combination test). In both cases the basic test procedure is identical as detailed in 6.101.2.9.1.

6.101.2.9.1 Test procedure

The impact of gas density variations on the circuit-breaker operating time should be evaluated under stable conditions of all other influencing variables.

The test should be performed using the intended gas as for service and care should be taken to allow for thermal stabilisation of gas between each filling and the subsequent tests.

30 mechanical no-load operations (openings and closings) should be performed at not less than three equally spaced values of gas density including minimum and rated values. Control voltage and stored energy (where applicable) should be their rated values.

6.101.2.9.2 Test results

The maximum, minimum and mean operating times measured under each test condition and the associated standard deviations should be tabulated and reported. In the case of combination tests the error between the declared expected mean operating time and the measured mean operating time for each test condition should also be reported.

6.102 Miscellaneous provisions for making and breaking tests

Subclause 6.102 of IEC 62271-100 is applicable with the following additions:

6.102.1 Identical nature of units

6.102.4.2.1 of IEC 62271-100 is applicable with the exception of item (a).

6.102.2 Test duty T100a

Subclauses 6.102.10.1.2 and 6.102.10.2 of IEC 62271-100 are applicable with the following addition:

A making operation with the relevant peak making factor from Table 1 should be performed.

The intended non-simultaneity and the intended application should be used to determine the short-circuit making and asymmetric short-circuit breaking (T100a) test conditions.

For three-phase testing of a three-pole operated circuit-breaker with non-simultaneous poles which is intended for operation in non-effectively earthed neutral systems, the asymmetry of the current will be determined by the pole spread upon closing (see Table 1), the applicable time constant, the circuit-breaker opening time(s) during a close open operation (see Note) and the applicable relay time. A reduction in the effective protection relay operating time may occur for mechanically staggered circuit-breakers such that, for a pre-existing three-phase fault condition, the protection trip initiation for the first pole to open will occur at a time equal to the applicable relay time minus the total pole spread at closing. The reduced value of protection relay operating time should be used during testing of this type of circuit-breaker.

For three-phase testing of a three-pole operated circuit-breaker with non-simultaneous poles intended for operation in effectively earthed neutral systems, the asymmetry of the current will be determined by the applicable time constant, the circuit-breaker opening time(s) during a close open operation (see note) and applicable relay time. A reduction in the effective protection relay operating time may occur for mechanically staggered circuit-breakers such that, for a pre-existing three-phase fault condition, the protection trip initiation for the first pole to open will occur at a time equal to the applicable relay time minus the total pole spread at closing. The reduced value of protection relay operating time should be used during testing of this type of circuit-breaker.

For single-phase testing of a single-pole operated circuit-breaker or a three-pole operated circuit-breaker with non-simultaneous poles intended for operation in non-effectively earthed neutral systems, the asymmetry of the current will be determined by the pole spread upon closing (see Table 1), the applicable time constant, the circuit-breaker opening time(s) during a close open operation (see note) and the applicable relay time. A reduced relay time should be considered to take into account fault detection at making of the first two poles to close when testing a simulated last pole to close.

For single-phase testing of a single-pole operated circuit-breaker or a three-pole operated circuit-breakers with non-simultaneous poles intended for operation in effectively earthed neutral systems, the asymmetry of the current will be determined by the applicable time constant, the opening time of the circuit-breaker during a close open operation (see Note) and applicable relay time. A reduced relay time should be considered to take into account fault detection at making of a first pole to close when testing a simulated last pole to close.

The required T100s(a) and T100a may be performed on different poles.

Tables 5 through 12, which are applicable for single phase testing, give required values of the peak short-circuit current and loop duration that should be attained by the last loop prior to interruption for cases where these differ significantly from those specified in IEC 62271-100. Since the calculated values of asymmetry are very similar for both effectively grounded and

non-effectively grounded systems, these tables, derived from the non-effectively grounded case, apply to both cases.

For effectively earthed neutral systems ($k_{pp} = 1,3$) the values for simultaneous and staggered making are equal and in line with IEC 62271-100. However, as mentioned in 4.102, such systems can produce full asymmetry in all three phases for a 60° closing delay between phases. In this case the minimum clearing time should be defined as:

Protection relay time + minimum opening time during a close-open operation (see Note) + minimum arcing time (minor loop) - 120°.

NOTE Some circuit-breaker designs may exhibit a longer minimum opening time under a CO operation than for single O operations. For such designs, the minimum opening time under a CO operation should be used for the determination of the minimum clearing time range and associated last current loop parameters. The T100a test should be performed in the worst condition as defined by either IEC 62271-302 test parameters (by using the minimum opening time under a CO operation) or IEC 62271-100 test parameters (by using the minimum opening time under a single O operation).

$\tau = 75 \text{ ms}$	Major loop			Minor loop				
Minimum clearing time	$\hat{I}$	Δt_1	Percentage of d.c. component at current zero	Corresponding dI/dt at current zero (percentage of the dI/dt of the rated symmetrical current)	$\hat{I}$	Δt_2	Percentage of d.c. component at current zero	Corresponding dI/dt at current zero (percentage of the dI/dt of the rated symmetrical current)
ms	p.u.	ms	%	%	p.u.	ms	%	%
$10,0 < t \leq 21,5$ see note 3	-	-	-	-	-	-	-	-
$21,5 < t \leq 43,5$	1,71	15,0	64,3	79,3	0,19	4,0	78,7	58,4
$43,5 < t \leq 64,5$	1,54	13,5	49,7	88,9	0,38	5,5	59,6	77,8
$64,5 < t \leq 85,0$	1,42	13,0	38,5	93,9	0,52	7,0	45,5	87,1
$85,0 < t \leq 105,5$	1,32	12,0	29,7	96,7	0,63	7,5	34,9	92,2
$105,5 < t \leq 125,5$	1,25	11,5	22,5	98,4	0,72	8,0	26,6	95,3

$\hat{I}$: p.u. value of the peak current related to the peak value of the symmetrical short-circuit current
 Δt_1 : duration of major loop (rounded to 0,5 ms)
 Δt_2 : duration of minor loop (rounded to 0,5 ms)
 τ : system circuit time constant

All values in this table have been calculated with a protection relay time of 10 ms.

NOTE 1 The system circuit time constant $\tau = 45 \text{ ms}$ is the standard time constant, $\tau = 60 \text{ ms}$, 75 ms and 120 ms are the special case time constants according to 4.101.2.

NOTE 2 If the minimum arcing time obtained during test is different from the value declared by the manufacturer and if the real minimum arcing time leads to another minimum clearing time class (interruption to another current loop) then it could be necessary to repeat the test with the appropriate current loop values. If a repetition is necessary, reconditioning of the circuit-breaker according to 6.102.9.5 of IEC 62271-100 or the use of an additional test sample according to 6.102.2 of IEC 62271-100 are permitted.

NOTE 3 Interruption is not possible within this minimum clearing time range since the minor loop has no current zero.

All values in this table have been calculated with a protection relay time of 10 ms.

NOTE 1 The system circuit time constant $\tau = 45$ ms is the standard time constant, $\tau = 60$ ms, 75 ms and 120 ms are the special case time constants according to 4.101.2.2.

NOTE 2 If the minimum arcing time obtained during test is different from the value declared by the manufacturer and if the real minimum arcing time leads to another minimum clearing time class (interruption to another current loop) then it could be necessary to repeat the test with the appropriate current loop values. If a repetition is necessary, reconditioning of the circuit-breaker according to 6.102.9.5 of IEC 62271-100 or the use of an additional test sample according to 6.102.2 of IEC 62271-100 are permitted.

NOTE 3 Interruption is not possible within this minimum clearing time range since the minor loop has no current zero.

Table 8 – Last current loop parameters for 50 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a, staggered poles, $\tau = 120$ ms

$\tau = 120 \text{ ms}$	Major loop				Minor loop			
Minimum clearing time	$\hat{I}$	Δt_1	Percentage of d.c. component at current zero	Corresponding di/dt at current zero (percentage of the di/dt of the rated symmetrical current)	$\hat{I}$	Δt_2	Percentage of d.c. component at current zero	Corresponding di/dt at current zero (percentage of the di/dt of the rated symmetrical current)
ms	p.u.	ms	%	%	p.u.	ms	%	%
$10,0 < t \leq 21,5$ see note 3	-	-	-	-	-	-	-	-
$21,5 < t \leq 42,5$	1,90	17,5	83,6	57,1	0,03	1,5	96,8	22,5
$42,5 < t \leq 63,5$	1,76	15,5	70,9	72,4	0,18	4,0	80,9	56,6
$63,5 < t \leq 84,0$	1,64	14,5	60,1	81,5	0,31	5,0	67,9	71,6
$84,0 < t \leq 104,5$	1,54	13,5	50,9	87,4	0,41	6,0	57,1	80,6
$104,5 < t \leq 125,0$	1,45	13,0	42,9	91,5	0,51	6,5	48,0	86,5

$\hat{I}$: p.u. value of the peak current related to the peak value of the symmetrical short-circuit current
 Δt_1 : duration of major loop (rounded to 0,5 ms)
 Δt_2 : duration of minor loop (rounded to 0,5 ms)
 τ : system circuit time constant

All values in this table have been calculated with a protection relay time of 10 ms.

NOTE 1 The system circuit time constant $\tau = 45 \text{ ms}$ is the standard time constant, $\tau = 60 \text{ ms}$, 75 ms and 120 ms are the special case time constants according to 4.101.2.

NOTE 2 If the minimum arcing time obtained during test is different from the value declared by the manufacturer and if the real minimum arcing time leads to another minimum clearing time class (interruption to another current loop) then it could be necessary to repeat the test with the appropriate current loop values. If a repetition is necessary, reconditioning of the circuit-breaker according to 6.102.9.5 of IEC 62271-100 or the use of an additional test sample according to 6.102.2 of IEC 62271-100 are permitted.

NOTE 3 Interruption is not possible within this minimum clearing time range since the minor loop has no current zero.

Table 10 – Last current loop parameters for 60 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a, staggered poles, $\tau = 60$ ms

$\tau = 60 \text{ ms}$	Major loop				Minor loop			
Minimum clearing time	$\hat{I}$	Δt_1	Percentage of d.c. component at current zero	Corresponding di/dt at current zero (percentage of the di/dt of the rated symmetrical current)	$\hat{I}$	Δt_2	Percentage of d.c. component at current zero	Corresponding di/dt at current zero (percentage of the di/dt of the rated symmetrical current)
ms	p.u.	ms	%	%	p.u.	ms	%	%
$8,5 < t \leq 18,5$ see note 3	-	-	-	-	-	-	-	-
$18,5 < t \leq 36,5$	1,69	12,5	62,2	81,1	0,21	3,5	76,7	60,8
$36,5 < t \leq 54,0$	1,52	11,5	47,4	90,1	0,40	5,0	57,2	79,5
$54,0 < t \leq 71,0$	1,39	10,5	36,1	94,9	0,55	6,0	43,0	88,4
$71,0 < t \leq 88,0$	1,30	10,0	27,7	97,3	0,66	6,5	32,5	93,1
$88,0 < t \leq 105,0$	1,23	9,5	21,2	98,7	0,74	7,0	24,8	95,8

$\hat{I}$: p.u. value of the peak current related to the peak value of the symmetrical short-circuit current
 Δt_1 : duration of major loop (rounded to 0,5 ms)
 Δt_2 : duration of minor loop (rounded to 0,5 ms)
 τ : system circuit time constant

All values in this table have been calculated with a protection relay time of 8,3 ms.

NOTE 1 The system circuit time constant $\tau = 45 \text{ ms}$ is the standard time constant, $\tau = 60 \text{ ms}$, 75 ms and 120 ms are the special case time constants according to 4.101.2.

NOTE 2 If the minimum arcing time obtained during test is different from the value declared by the manufacturer and if the real minimum arcing time leads to another minimum clearing time class (interruption to another current loop) then it could be necessary to repeat the test with the appropriate current loop values. If a repetition is necessary, reconditioning of the circuit-breaker according to 6.102.9.5 of IEC 62271-100 or the use of an additional test sample according to 6.102.2 of IEC 62271-100 are permitted.

NOTE 3 Interruption is not possible within this minimum clearing time range since the minor loop has no current zero.

Table 12 – Last current loop parameters for 60 Hz operation in relation with short-circuit test-duty T100a, staggered poles, $\tau = 120$ ms

$\tau = 120 \text{ ms}$	Major loop				Minor loop			
Minimum clearing time	$\hat{I}$	Δt_1	Percentage of d.c. component at current zero	Corresponding di/dt at current zero (percentage of the di/dt of the rated symmetrical current)	$\hat{I}$	Δt_2	Percentage of d.c. component at current zero	Corresponding di/dt at current zero (percentage of the di/dt of the rated symmetrical current)
ms	p.u.	ms	%	%	p.u.	ms	%	%
$8,5 < t \leq 18,5$ see Note 3	-	-	-	-	-	-	-	-
$18,5 < t \leq 36,0$ see note 3	-	-	-	-	-	-	-	-
$36,0 < t \leq 52,5$	1,84	13,5	79,8	62,0	0,10	2,5	89,4	42,8
$52,5 < t \leq 70,0$	1,73	12,5	69,7	73,2	0,21	3,5	77,5	61,5
$70,0 < t \leq 87,0$	1,64	12,0	60,9	80,7	0,31	4,0	67,3	72,5
$87,0 < t \leq 104,0$	1,56	11,5	53,2	85,9	0,40	5,0	58,5	79,8
$104,0 < t \leq 121,0$	1,49	11,0	46,3	89,7	0,48	5,5	50,8	85,0

$\hat{I}$: p.u. value of the peak current related to the peak value of the symmetrical short-circuit current
 Δt_1 : duration of major loop (rounded to 0,5 ms)
 Δt_2 : duration of minor loop (rounded to 0,5 ms)
 τ : system circuit time constant

All values in this table have been calculated with a protection relay time of 8,3 ms.

NOTE 1 The system circuit time constant $\tau = 45 \text{ ms}$ is the standard time constant, $\tau = 60 \text{ ms}$, 75 ms and 120 ms are the special case time constants according to 4.101.2.

NOTE 2 If the minimum arcing time obtained during test is different from the value declared by the manufacturer and if the real minimum arcing time leads to another minimum clearing time class (interruption to another current loop) then it could be necessary to repeat the test with the appropriate current loop values. If a repetition is necessary, reconditioning of the circuit-breaker according to 6.102.9.5 of IEC 62271-100 or the use of an additional test sample according to 6.102.2 of IEC 62271-100 are permitted.

NOTE 3 Interruption is not possible within this minimum clearing time range since the minor loop has no current zero.

6.103 Test circuits for short-circuit making and breaking tests

Subclause 6.103 of IEC 62271-100 is applicable.

6.104 Short circuit-test quantities

6.104.1 Applied voltage before short-circuit making tests

Subclause 6.104.1 of IEC 62271-100 is applicable.

6.104.2 Short-circuit making current

Subclause 6.104.2 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition:

The intended non-simultaneity for closing and application should be used to determine the short-circuit making test conditions.

6.104.2.1 Three phase tests

Subclause 6.104.2.2.1 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition:

For three-pole operated circuit-breakers intended for voltage zero closing in non-effectively earthed neutral systems a single making test with low applied voltage should be performed to demonstrate the making and latching capability of the design. This test may be omitted if the enhanced short-circuit making performance has already been achieved as part of a previous test series on an equivalent, non-staggered design. The peak making current should be as defined in Table 1.

6.104.2.2 Single phase tests

Subclause 6.104.2.2.2 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition:

For single-pole operated circuit-breakers intended for voltage zero closing in non-effectively earthed neutral systems a single making test with low applied voltage should be performed to demonstrate the making and latching capability of the design. The peak making current should be as defined in Table 1. This test may be omitted if the enhanced short-circuit making performance has already been achieved as part of a previous test series for simultaneous operation.

6.105 Short-circuit test procedure

Subclause 6.105 of IEC 62271-100 is applicable.

6.106 Basic short-circuit test-duties

Subclause 6.106 of IEC 62271-100 is applicable.

6.107 Critical current tests

Subclause 6.107 of IEC 62271-100 is applicable.

6.108 Single-phase and double earth fault tests

Subclause 6.108 of IEC 62271-100 is applicable.

6.109 Short-line fault tests

Subclause 6.109 of IEC 62271-100 is applicable.

6.110 Out-of-phase making and breaking tests

Subclause 6.110 of IEC 62271-100 is applicable.

6.111 Capacitive current switching tests

Subclause 6.111 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition:

6.111.1 Test voltage

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

Precaution should be taken to achieve the adequate voltage stress on the tested pole with respect to the intended non-simultaneity of the poles at opening defined by the manufacturer.

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

1,5 for tests corresponding to:

- breaking during normal service conditions in non-effectively earthed neutral systems with a non-simultaneity at contact separation at opening in the different poles exceeding one sixth of the cycle of the rated frequency.
- breaking of capacitor banks with non-effectively earthed neutral with a non-simultaneity at contact separation at opening in the different poles exceeding one sixth of the cycle of the rated frequency.

For unit tests, the test voltage should 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 in the capacitive circuit should be maintained for a period of at least 0,3 s after breaking.

For mechanically staggered circuit-breakers the resulting non-simultaneity at opening defined by the manufacturer should be used for the determination of the voltage multiplying factor for direct single-phase capacitive current switching tests.

6.111.2 Test-duties

Subclause 6.111.9 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition:

It is recognised that circuit-breakers intended to be used for controlled (voltage zero) closing of capacitive loads will only be exposed to significant capacitor bank inrush conditions in the event of a targeting failure. For this reason a reduced number of capacitor bank making operations is specified in comparison with IEC 62271-100. Specifically, not less than 10 % of the capacitor bank making operations specified in IEC 62271-100 should be undertaken within 15° of the peak value of applied voltage (on one phase for three-phase tests). When applicable, the making current should be at least equal to the rated back-to-back capacitor bank inrush making current.

Alternatively, the full capacitive switching test series for the relevant classification may be undertaken with the assistance of the controller. In this case additional tests must be undertaken to meet the above 10 % requirement and demonstrate the ability of the circuit-breaker to withstand occasional targeting failure.

It is important to note that circuit-breakers tested with the reduced number of making operations defined here should not be used for repeated capacitor bank energisation without the assistance of the appropriate controller. In such cases the relevant capacitive switching

class (C1/C2) should be indicated on the circuit-breaker nameplate supplemented by the words “with controlled switching assistance” or equivalent. If repeated uncontrolled operation is required, e.g. to cater for controller failure or removal, the full IEC 62271-100 test series should be applied.

For controlled opening of capacitive loads with settings intended to minimise re-strike probability, the requirements of IEC 62271-100 should apply with the exception that the arcing time will be defined by the intended arcing time specified by the manufacturer. However, not less than 10 % of the required test operations or operating cycles should be undertaken at minimum arcing time and at the rated conditions of the circuit-breaker.

The sequence of test operations is optional.

NOTE Undertaking 10% of operations under non-optimum controlled switching conditions does not imply controller failure for 10% of operations. These operations are intended to demonstrate that a low number of targeting errors throughout the operating lifetime of the circuit-breaker do not compromise its basic performance.

6.112 Special requirements for making and breaking tests on class E2 circuit-breakers

Subclause 6.112 of IEC 62271-100 is applicable.

6.113 Determination of the rate of decay of dielectric strength

6.113.1 Applicability

RDDS measurement tests are applicable when the circuit-breaker is intended for controlled closing at a pre-determined target. Typical applications are energisation of capacitor banks, shunt reactors, lines and transformers.

6.113.2 General requirements

The test may be undertaken at 50 Hz or 60 Hz subject to the normal tolerances detailed in IEC 62271-100.

NOTE It is recognised that the frequency at which the test is undertaken may affect the results and, in particular, that test procedures based on the use of dc voltage do not correlate exactly with results of ac tests. Whilst care must be taken when using tests at one frequency for application at another frequency it is believed that the differences between 50 Hz and 60 Hz results are sufficiently small to be of no practical consequence.

The test voltage should be not less than the rated phase-to-earth voltage for circuit-breakers intended for application in effectively earthed neutral systems and not less than 1,5 times the rated voltage for circuit-breakers intended for application in non-effectively earthed neutral systems. For some applications, higher test voltages may be required, for example 2,0 for line reclosing applications.

The test current should not exceed the preferred value of rated capacitive current and a value in excess of 10 A is preferred.

The supply voltage of closing and opening devices should be their rated value.

The RDDS measurement tests should be performed with the circuit-breaker in new condition, with rated operating conditions and also following pre-conditioning of the circuit-breaker, with lock-out operating conditions. As far as practicable, the test arrangement should be such that no interference with the circuit-breaker between the test series is necessary. If this is not possible the interference should be minimised. If local safety rules require depressurisation prior to access to the vicinity of the circuit-breaker it is permissible to decrease the pressure providing that as much as possible, and not less than 90 % of, the same gas is re-used when refilling the circuit-breaker.

Separate poles may be used for the new and pre-conditioned RDDS test series.

The pre-conditioning tests consist of:

- same current as test duty T60;
- low voltage and no specified TRV;
- three opening operations with arcing times as for T60;
- rated or lock out conditions.

6.113.3 Measurements

The following parameters should be recorded during the RDDS tests.

- instant of contact touch;
- instant of pre-strike;
- pre-strike voltage.

The instant of contact touch in each test is derived from measurements of no-load closing operations prior to the RDDS measurement tests and from the travel curve obtained during each test.

6.113.4 Preferred test procedure

The RDDS measurement tests should consist of a series of operations “around the clock”, which can be performed according to the procedure described below:

- a) perform 4 making operations at a voltage peak;
- b) delay the close impulse by 15° and perform a further 4 making operations;
- c) repeat step b) 22 times such that the entire voltage cycle (360°) is tested;
- d) repeat step a) to confirm that the characteristics of the circuit-breaker remain unchanged from the starting conditions.

6.113.5 Alternative test procedure

The following test procedure may be applied where no means of controlled switching is available in the test laboratory for example if RDDS tests are undertaken in a high voltage laboratory. This test procedure is likely to require significantly more than the minimum number of test operations (108) due to its random nature.

Each half cycle of voltage (voltage loop) should be divided into 6 equal windows of 30°. Random making operations should be performed until there are at least nine pre-strikes in each window.

6.114 Determination of the rate of rise of dielectric strength (RRDS)

The RRDS characteristics of a circuit-breaker should be determined separately for each of the load currents as specified by IEC 62271-110 [4]. This determination can be done as part of the 62271-110 testing.

For applications with controlled opening of shunt reactors having rated currents and/or voltages outside the values given in Tables 3 and 4 of IEC 62271-110 it is recommended to perform a separate shunt reactor switching test with the currents and/or voltages specific to the application.

The test procedure of IEC 62271-110 should be followed.

For a breaking current higher than that given in Tables 3 and 4 of IEC 62271-110 the RRDS may be affected such that the resulting minimum arc duration for reignition free interruption will be longer.

In the same way a breaking current lower than that given in Tables 3 and 4 of IEC 62271-110 may cause chopping overvoltages resulting in a TRV peak exceeding that given in Table 2 of IEC 62271-110.

The suitability of controlled opening for the special application should then be judged in the same way as for the standardized cases by comparing the reignition free window with respect to the expected mechanical spread.

6.115 Controlled closing test

6.115.1 Applicability

A controlled closing test is mandatory for all circuit-breakers intended for controlled closing. Typical applications are energising of capacitor banks, transformers and reactors.

6.115.2 General requirements

This test procedure aims to demonstrate the ability of the circuit-breaker to consistently initiate current within its rated making window. Independent of the application, testing using a voltage zero target is sufficient to demonstrate the ability of a circuit-breaker for all target points. Testing at other target points may be agreed between manufacturer and user on an application specific basis.

Preferred values of rated making window are given in 4.101.

Testing in accordance with this clause may be undertaken in accordance with Table 2 or Table 3 of this technical report. Testing in accordance with Table 2, making use of a laboratory controller, demonstrates the best potential performance which may be expected of the circuit-breaker in an “ideal” controlled switching system.

Testing in accordance with Table 3, using the dedicated controlled switching equipment associated with the circuit-breaker demonstrates the actual performance that may be expected from the controlled switching system.

The characteristics of the laboratory tripping control circuit (including laboratory synchronising equipment) should be sufficiently accurate that it does not significantly affect the test results.

6.115.3 Determination of the optimum target point

The manufacturer should declare the optimum target point for the controlled switching test. Before commencing the controlled closing test, no-load operations (O and C) should be made and details of the operating characteristics of the circuit-breaker recorded.

6.115.4 Characteristics of the power frequency supply circuit

The test voltage should be not less than the rated phase-to-earth voltage for circuit-breakers intended for application in effectively earthed neutral systems and not less than 1,5 times the rated voltage for circuit-breakers intended for application in non-effectively earthed neutral systems. For some applications, higher test voltages may be required for example 2,0 for line reclosing applications. For unit tests, the test voltage should be chosen to correspond to the most stressed unit of the pole of the circuit-breaker.

The test circuit should fulfil the following criteria:

- a) the power frequency voltage variation of the source should be less than 2 %;
- b) the test current should not exceed the preferred value of rated capacitive current and a value in excess of 10 A is preferred.

6.115.5 Test procedure

The controlled closing test consists of a series of making operations at rated operating conditions with the circuit-breaker in new condition and a series of making operations on a pre-conditioned circuit-breaker at lock-out operating conditions.

Tests should be performed at the voltage polarity giving the lowest RDDS (see 6.113). If this information is not available the controlled closing test should be repeated at each polarity.

NOTE Testing with highest RDDS may be acceptable where the polarity at closure can be chosen.

The pre-conditioning requirements are identical to those given in 6.113.2. As far as practicable, the test arrangement should be such that no interference with the circuit-breaker between the test series is necessary. If this is not possible, the interference should be minimised as far as possible. If local safety rules require depressurisation prior to access to the vicinity of the circuit-breaker it is permissible to decrease the pressure providing that the gas is reused when refilling the circuit-breaker.

Separate poles may be used for the new and pre-conditioned test series.

The circuit-breaker must pass the tests in 6.115.5.1 and 6.115.5.2.

6.115.5.1 Test procedure for circuit-breaker in new condition

20 making operations should be performed targeting closure at the optimum target point.

The circuit-breaker has passed the test if all 20 operations result in current initiation within the rated making window of the circuit-breaker. In the event of a single making operation within the 20 shot sequence falling outside the rated making window a further 20 making operations should be performed. The circuit-breaker has passed the test providing that current initiation occurs within the rated making window in not less than 19 of the second series of 20 operations.

6.115.5.2 Test procedure for pre-conditioned circuit-breaker

20 making operations should be performed targeting closure at the optimum target point.

The circuit-breaker has passed the test if not less than 18 of the 20 operations result in current initiation within the rated making window of the circuit-breaker. In the event of a third making operation within the 20 shot sequence falling outside the rated making window, a further 20 making operations should be performed. The circuit-breaker has passed the test providing that current initiation occurs within the rated making window in not less than 18 of the second series of 20 operations.

7 Routine tests

Clause 7 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition:

Particular attention should be paid to any transducers or auxiliary switches which are required for controlled switching applications. The accuracy of these should be checked and recorded and verified to be within acceptable tolerances as specified by the manufacturer.

8 Guide to the selection of circuit-breakers for service

Clause 8 of IEC 62271-100 is applicable.

9 Information to be given with enquiries, tenders and orders

Clause 9 of IEC 62271-100 is applicable.

10 Rules for transport, storage, installation, operation and maintenance

Clause 10 of IEC 62271-100 is applicable with the following addition:

10.101 Commissioning of circuit-breakers for controlled switching

Site testing is a vital stage in achieving successful operation of controlled switching installations. They are particularly important as a method of ensuring precise settings for the particular application. Sufficient measurements should be taken during site testing to verify that the expected controlled switching accuracy is achieved. It is recommended that all available primary voltages and currents are recorded in addition to the outputs from the controller.

It is recommended that some controlled switching operations are performed with an isolated load prior to energising of the primary circuit. These operations should be used to verify that the circuit-breaker closes and opens at the intended closing and opening targets.

Providing that the no-load tests are successful, full, on-load testing of the complete controlled switching system should be performed. If adaptive control is not employed, the results of these tests should be used to identify any setting modifications required to achieve the desired accuracy.

In the case of a circuit-breaker supplied with a dedicated controlled the manufacturer should provide a commissioning programme to demonstrate overall functionality.

10.102 Maintenance of controlled switching accuracy

The designer of the controlled switching system should provide recommendations regarding minimum maintenance requirements to ensure that the specified accuracy is maintained throughout the life of the installation.

11 Safety

Clause 11 of IEC 62271-100 is applicable.

12 Influence of the product on the environment

Clause 11 of IEC 62271-100 is applicable.

Annex A (informative)

Guidance upon the maximum timing difference between the instants of contact touch/contact separation of breaking units of the same pole for circuit-breakers intended for controlled switching

A.1 General

A maximum unit spread of 1/6 of a cycle at opening is defined as acceptable by IEC 62271-100 for general purpose circuit-breakers not specifically intended for controlled switching. IEC 62271-100 does not define any requirements for unit spread at closing.

To ensure intended performance at controlled switching it is essential that series connected breaking units of the same pole act mechanically simultaneously and with equal dynamic dielectric characteristics. The mechanical non-simultaneity can be taken into account by setting the targets but should generally be as small as possible for optimized targeting.

A.2 Controlled closing

The following example demonstrates the impact of unit time spread in the case of single phase, 50 Hz, capacitor bank energisation with a two-unit circuit-breaker.

For the purposes of the example the following assumptions are made:

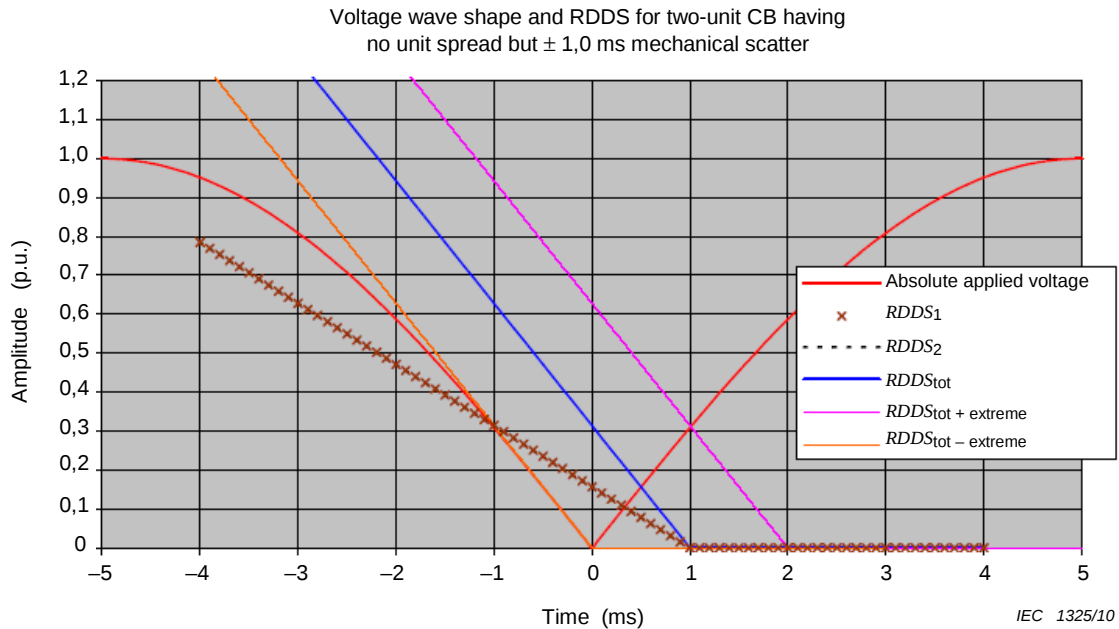
- the total RDDS ($RDDS_{tot}$) for the two units, $RDDS_1$ and $RDDS_2$, when operating simultaneously is equal to the $(du/dt)_{max}$, which occurs at voltage zero, of the applied voltage;
- there is no dynamic dielectric spread;
- voltage distribution across the units is even;
- unit spread is fixed and having no scatter.

Figure A.1 shows the case of a circuit-breaker having a mechanical scatter of $\pm 1,0$ ms and no unit spread. Taking into account this mechanical scatter, $RDDS_{tot}$ is centred such that the pre-striking voltage at the shorter extreme (minimum closing time) and upper extreme (maximum closing time) will be equal. This results in an optimised target point for closing which is slightly delayed from voltage zero.

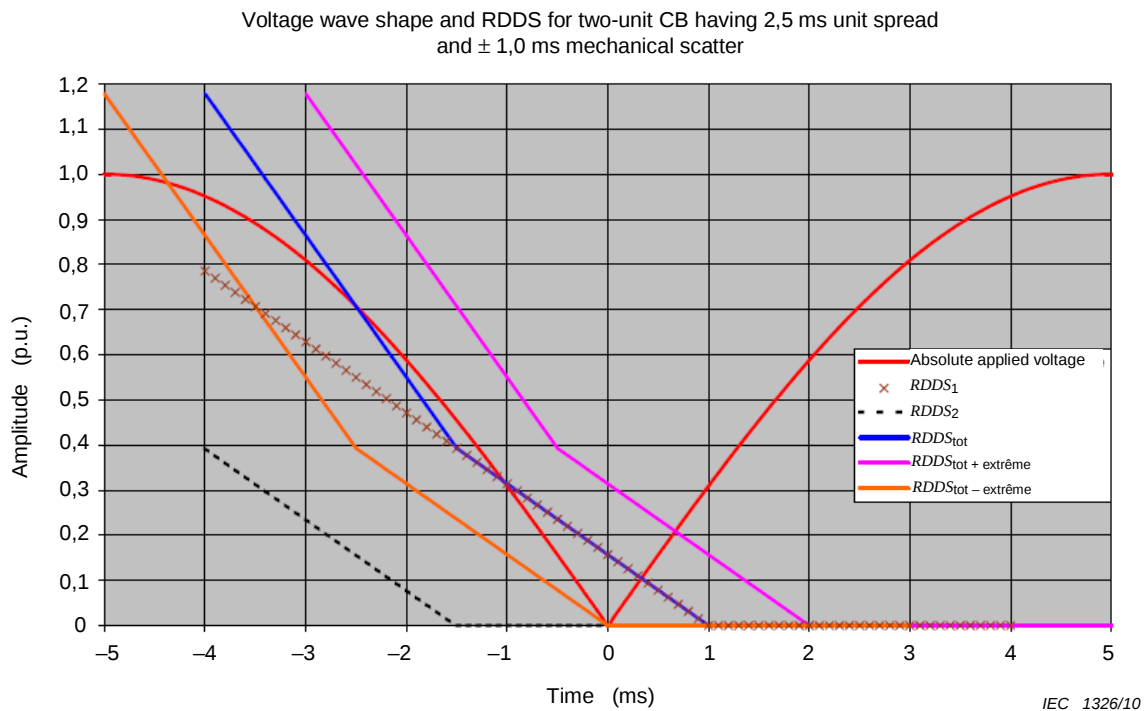
The equivalent situation for a circuit-breaker having a mechanical unit spread of 1/8 of a cycle (2,5 ms at 50 Hz) at closing is shown in Figure A.2. The “early” closure of one unit results in $RDDS_{tot}$ becoming a non-linear function with a change in value at the point when the first interrupter becomes conducting. The effect of unit spread on $RDDS_{tot}$ will increase the targeting error which itself will be dependent upon a variety of conditions such as voltage distribution across the units, the relationship between RDDS and the applied voltage, linearity of RDDS, total mechanical scatter and the actual intended target.

Unit spread may result in the need for additional delays to the target point for closing. In order to take a $\pm 1,0$ ms mechanical scatter into account in conjunction with a unit spread of 2,5 ms the target point for closing of the last unit to close needs to be delayed by 2,25 ms from voltage zero and this will still result in a maximum pre-striking voltage which exceeds the maximum pre-striking voltage assuming no unit spread. Centring the target range such that the pre-strike voltage is equal on the rising and falling voltage slope may no longer be possible.

This is a simplified example and, in reality, the situation will depend upon the interaction between the electrical behaviour of the units. In particular the ability, or otherwise, of the latter (“slower”) closing units to withstand the total voltage following making of the faster units will have a major impact on the targetting strategy. In order to avoid such complexities circuit-breakers for controlled closing should be specified with low values of unit spread as detailed in this technical report.



**Figure A.1 – RDDS versus voltage for closing
with no unit spread and mechanical scatter of $\pm 1,0$ ms**



**Figure A.2 – RDDS versus voltage for closing with 1/8 cycle unit spread
and mechanical scatter of $\pm 1,0$ ms**

A.3 Controlled opening

The effect of unit spread at opening is illustrated by an example of 50Hz, controlled shunt reactor de-energising intended to achieve re-ignition free interruption using a two-unit circuit-breaker having a maximum unit spread of 1/8 of a cycle.

For the purposes of the example the following assumptions are made:

- the total RRDS ($RRDS_{tot}$) for the two units when operating simultaneously results in a minimum, re-ignition free, arcing time equal to a quarter of a cycle for the recovery characteristics of the example;
- there is no dynamic dielectric spread;
- voltage distribution across the units is even;
- unit spread is fixed and having no scatter;
- increasing recovery voltage due to increasing arcing time has not been considered.

Figure A.3 shows the situation for a circuit-breaker with $\pm 1,0$ ms mechanical scatter but no unit spread ($RRDS_1 = RRDS_2 = 0,5 \times RRDS_{tot}$). The target for de-energising is centred such that minimum arcing time for re-ignition free interruption corresponds to the upper extreme of the mechanical scatter range (maximum opening time).

Figure A.4 shows the equivalent case considering a unit spread of 2,5ms. As in the preceding closing case the unit spread results the possibility of a non-linear $RDDS_{tot}$ characteristic. In order to achieve reliable re-ignition free performance an earlier target point for opening must be chosen compared to the case with no unit spread. In this particular example an advance of approximately 1,3 ms is required such that the new centered target point for opening is 7,3 ms prior to current zero.

In conclusion, it is clear that the target point for opening needs to be adjusted taking into account the unit spread at opening. The necessary adjustment of the setting of contact parting depending on the unit spread will be determined by the steepness of the RRDS with respect to the peak value of the recovery voltage. The targeting error will be determined by the voltage distribution across the units, the expected mechanical spread of the pole, the expected unit spread and the actual relationship between the recovery voltage and the RRDS.

In order to avoid such complexities circuit-breakers for controlled opening should be specified with low values of unit spread as detailed in this technical report.

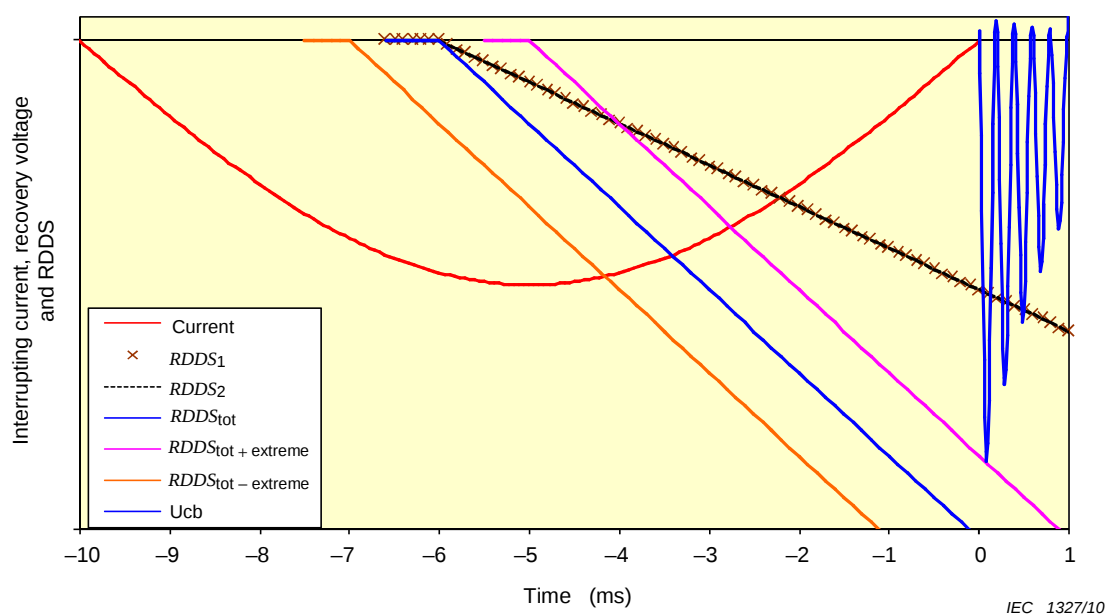


Figure A.3 – RRDS versus recovery voltage for no unit spread and $\pm 1,0$ ms mechanical scatter

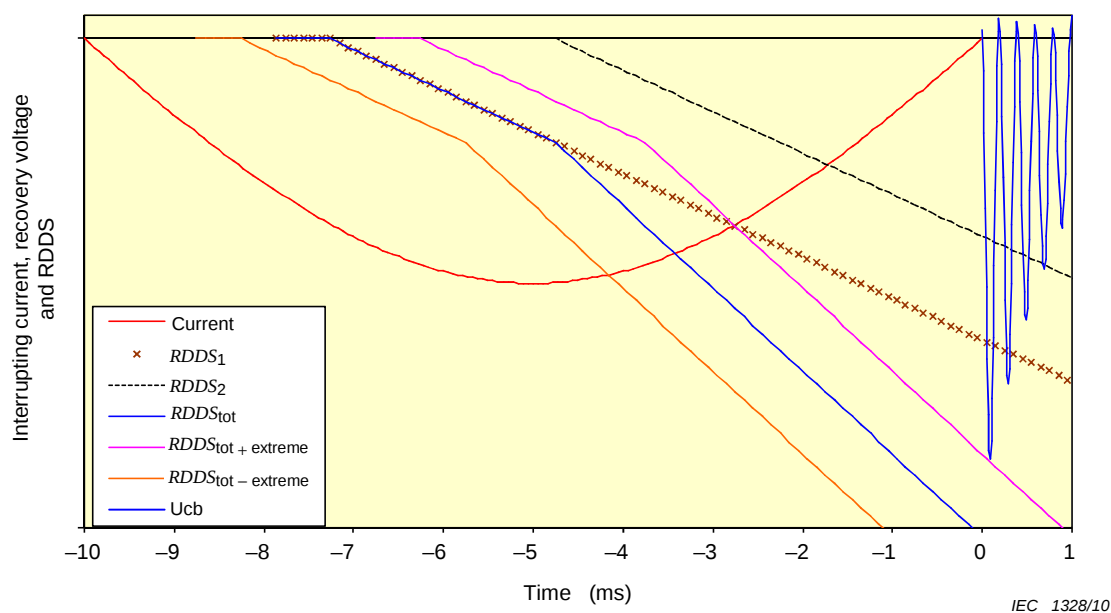


Figure A.4 – RRDS versus recovery voltage for 2,5 ms unit spread and $\pm 1,0$ ms mechanical scatter

A.4 Measurement and limits of unit spread

The closing time as defined in 3.7.136 of IEC 62271-100 is the time from impulse to contact touch across the complete pole i.e. is effectively a measure of the last unit to close.

The opening time as defined in 3.7.133 of IEC 62271-100 is the time from impulse to contact separation and across the complete pole i.e. is effectively a measure of the first unit to open.

These definitions are quite adequate for most purposes and recognise that, for example, in the case of multi-unit GIS circuit-breakers there may be no ready access to measure the operating characteristics of the individual units.

As demonstrated above, the present definitions of closing and opening times are not totally suitable for all controlled switching applications where the unit spread i.e. the discrepancy between operation of first and last units to operate may be important. Not knowing the unit spread and only considering the “total closing time” or “total opening time” may result in unintended targeting. The first unit to close will determine the earliest (lower) limit for pre-striking while the last unit to open will determine the lowest withstand limit.

On this basis it is recommended that the unit spread of circuit-breakers intended for controlled switching is well controlled and measured during timing tests and particularly prior to commissioning.

The maximum acceptable unit spread will be dependant upon the steepness of the RDDS and the RRDS in combination with the expected mechanical spread. In order to avoid complex, duty specific assessments it is recommended that circuit-breakers for controlled switching exhibit minimal unit spread i.e. the units with a pole operate substantially simultaneously. To ensure the intended controlled switching performance the maximum difference between the instants of contact touch/separation within the series connected interrupter units should not exceed one sixteenth (6,25 %) of a cycle of the rated frequency.

Annex B (informative)

Guidance for the application of the results of parameter definition/combination tests

B.1 General

Parameter definition tests and combination tests provide information regarding the achievable accuracy of the equipment under test. Since the tests are undertaken individually for each considered parameter, identifying the overall achievable performance of the system requires further analysis of the test results. This annex presents guidance to enable an overall assessment of performance to be made from the individual test data resulting from the tests defined in this technical report. This guidance is based on the parameter variations exhibiting a normal or Gaussian distribution although a similar approach could be applied to other distributions.

B.2 Isolation of the mechanical scatter

Subclause 6.101.2.1 determines the mechanical scatter in terms of mean, maximum and minimum operating times and associated standard deviations. The results of other parameter definition tests, such as the influence of control voltage, high temperatures etc, when reported on the same basis, consist of a combination of mechanical scatter effects and genuine parameter variations effects. As such, in order to calculate overall performance and ensure that the effects of mechanical scatter are not incorporated more than once it is necessary to eliminate the mechanical scatter from the results of the individual tests. This can be achieved as follows.

Consider n independent parameters, X_i , that can each be compensated for by the controller.

S_t is defined as the standard deviation observed in a combination test where all of these n parameters vary and have effects which are independent from each other. S_t^2 is the associated variance value which can be summed for individual distributions.

If X_m is the mechanical scatter parameter the following equation can be written:

$$S_t^2 = S^2(X_1, \dots, X_n, X_m),$$

Since all of the parameters are considered to be independent,

$$S_t^2 = S^2(X_1) + \dots + S^2(X_n) + S^2(X_m)$$

Considering the testing procedures detailed in this technical report, from each parameter definition test $S_{im}^2(X_i, X_m)$ can be determined. From the mechanical endurance test $S^2(X_m)$ can also be determined.

Due to the independence of the variables:

$$S_{im}^2(X_i, X_m) = S^2(X_i) + S^2(X_m)$$

And therefore,

$$S^2(X_i) = S_{im}^2(X_i, X_m) - S^2(X_m)$$

Applying this principle to S_t results in the following:

$$S_t^2 = \sum_{i=1}^{i=n} [S_{im}^2(X_i, X_m) - S^2(X_m)] + S^2(X_m)$$

The total variance of the parameter tests is therefore given by:

$$S_t^2 = \sum_{i=1}^{i=n} S_{im}^2(X_i, X_m) + (1-n) \times S^2(X_m) \quad (\text{B.1})$$

From this total variance the capability of the system under test can be derived in terms of its rated making window.

B.3 Parameter definition testing (Table 2)

In this case the equipment under test is limited to the circuit-breaker. For each of the major parameter definition tests, the tested values can be obtained in terms of mean, maximum and minimum operating times and associated standard deviations. The following clauses outline the procedure for using this information to identify the achievable rated making window of the circuit-breaker. This assumes that compensation will be available to compensate for systematic changes in the mean value i.e. the application of “perfect” compensation.

The mechanical scatter of the main contacts is derived from testing in accordance with 6.101.2.1. A minimum test sequence of 2×100 closing operations and 2×100 opening operations is required with an additional 100 opening and 100 closing operations for fluid based mechanisms with variable drive pressure. Each sequence of 100 operations can be defined by its mean and standard deviation. Since, for parameter definition, there can be no declared target point, only the standard deviation is of interest. The overall standard deviation for all of the close operations should be determined separately from the overall standard deviation for all of the open operations. These values are $S(X_m)$ as defined above.

Impact of control voltage is derived from 6.101.2.4. The overall standard deviation for all of the close operations should be determined separately from the overall standard deviation for all of the open operations. This value is $S_{1m}(X_1, X_m)$.

Equivalent values can be derived for other variables for example:

- temperature, $S(X_2)$;
- stored energy level, $S(X_3)$;
- idle time, $S(X_4)$;
- gas density, $S(X_5)$.

Using Equation B.1 the overall standard deviation taking into account all parameter variations, S_t , can then be derived. Assuming a normal distribution ± 3 standard deviations equates to a 99,7 % confidence level and ± 2 standard deviations equates to a 95 % confidence level.

B.4 Combination testing (Table 3)

The procedure in this case is similar to that outlined in the preceding clause. However, the incorporation of the controller into the system under test permits the definition of an intended target operating time of the system under each test condition and these values should be declared by the supplier at the time of testing. This being the case, both the standard

deviation around the tested mean value and the difference between the tested mean value and the declared value are of interest.

In cases where there are no significant errors between the declared target values and the mean tested value, the same procedure as defined above can be applied.

Significant variations between the declared target value and the measured mean value for any test suggest poor or inadequate compensation for the relevant parameter. In such cases complex probabilistic distributions (being the sum of normal distributions with differing mean values) may result, that cannot be analysed simply. In the first instance it is suggested that the overall standard deviation is derived in the same way as for the case above (B.3). An additional tolerance, equal to the overall spread in the mean values should be added such that the achievable target window is ± 3 standard deviations + the mean spread.

Annex C (informative)

Testing of circuit-breakers with intentionally non-simultaneous poles taking into account controller failure

In general, test requirements for circuit-breakers intended for controlled switching are based upon correct operation of the controller. However, since controllers, like all equipment can fail it is necessary to consider whether occasional controller failure can result in service conditions which exceed the proven capability of the circuit-breaker. Table C.1 summarises foreseeable controller failures and their implications for circuit-breaker stress. It is the intention of this technical report that, where controller failure may lead to increased stress upon the circuit-breaker compared to the normal, simultaneous pole operation, uncontrolled condition, additional testing is specified such that the circuit-breaker is not at risk of failure.

The following assessment considers circuit-breaker stresses only and does not address possible system implications of controller malfunction or the possibility of failure of connected equipment (for example, shunt reactors, capacitor banks, etc.).

Table C.1 – Possible controller failures and their implications for circuit-breaker stress

Type of failure	Type of operation	Consequence of failure	Conclusion
Loss of supply voltage	Any	No operation or simultaneous uncontrolled operation of all poles.	No additional test requirements
Loss of reference	Closing Three-pole (mechanically staggered) operation	No operation or operation without point-on-wave control. In case of operation the poles will close non-simultaneously with the built-in staggering.	Worst case covered by voltage zero closing with pre-existing earth fault.
	Opening Three-pole (mechanically staggered) operation	No operation or operation without point-on-wave control. In case of operation the poles will open non-simultaneously with the built-in staggering.	May result in increased voltage factor in case of de-energising an non-effectively earthed capacitor bank depending upon displacement between poles and the arcing times. Covered by 1,5 factor in 6.111.1. Re-ignitions likely in all poles in case of shunt reactor de-energising. No additional requirements.
	Closing Single-pole operation	No operation or operation without point-on-wave control. In case of operation it is assumed that the closing coils are energised simultaneously. The time difference between the closing of the poles is dependent on the inherent closing time variations between the poles.	No additional test requirements.
	Opening Single-pole operation	No operation or operation without point-on-wave control. In case of operation it is assumed that the trip coils are energised simultaneously. The time differences between the opening of the poles are depending on the opening time variations between the poles.	No additional test requirements. In case of shunt reactor de-energising circuit-breaker will probably reignite in at least one pole.

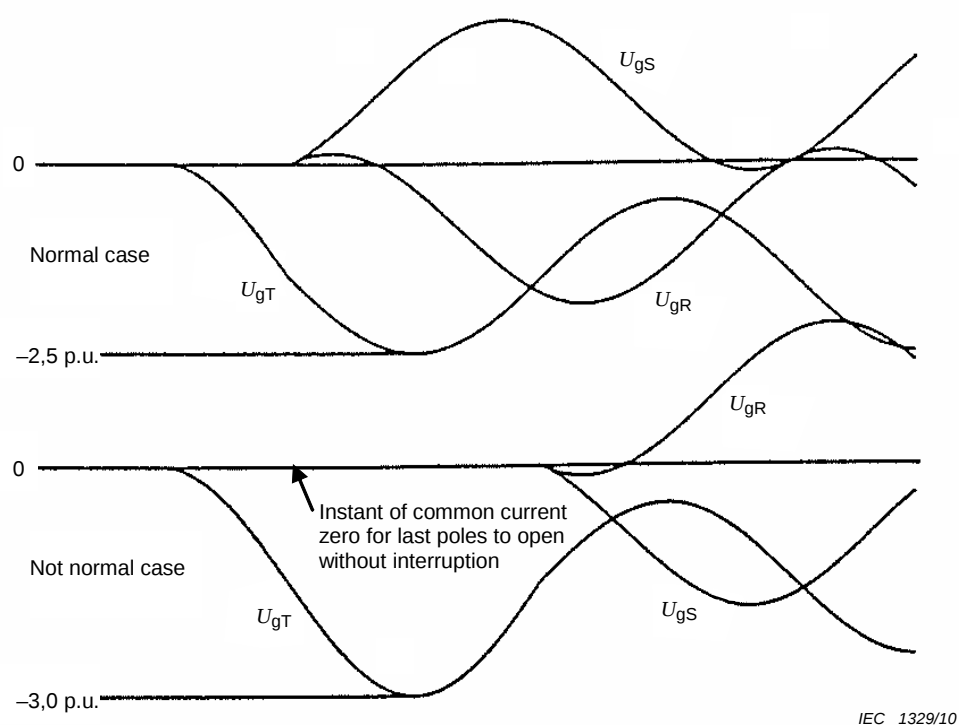
Type of failure	Type of operation	Consequence of failure	Conclusion
Loss of compensation sensor inputs	Closing Single or three pole operation	Blocked operation or operation with no correction for external parameter change.	No additional test requirements.
Loss of compensation inputs	Opening Single- or three pole operation	Blocked operation or operation with no correction for external parameter change.	No additional test requirements. Re-ignitions may occur during shunt reactor de-energising.
Loss of adaption inputs	Any	Blocked operation or operation with improper correction for previous targeting error.	No additional test requirements.
Incorrect controller settings	Any	Targeting error for the false defined pole(s) without detection of the error by the controller.	Problem should be detected and corrected at commissioning. No additional test requirements.
Malfunction of internal circuits	Any	Most probably no operation.	No additional test requirements.

As summarised above, most foreseeable controller failures do not result in stresses which exceed those already covered by the type tests specified in IEC 62271-100 and this technical report. The most critical condition identified is de-energisation of an non-effectively earthed shunt capacitor bank by means of a three-pole operated, mechanically staggered circuit-breaker under the condition with loss of reference voltage.

Depending on the actual mechanical staggering and the arcing characteristics of the circuit-breaker the opening sequence may be such that the interruption does not take place at consecutive current zeros. This can result in an increased recovery voltage for the first pole to clear which may be the case if the first opening pole opens about 90° prior to the other two (Figure C.1). The upper traces show the normal situation with interruption at consecutive current zeros and resulting in a maximum recovery voltage peak of 2,5 p.u. in the first-pole-to-clear.

The lower traces show the situation where the last-poles-to-clear do not interrupt at (or still have not opened before) their first common current zero. This situation results in a maximum recovery voltage peak of 3,0 p.u. across the first-pole-to-clear.

This is the reason for the inclusion of the voltage multiplying factor of 1,5 mentioned in 6.111.1 of this technical report.

**Key**

U_{gR} is the voltage across the contact gap of the R-pole

U_{gS} is the voltage across the contact gap of the S-pole

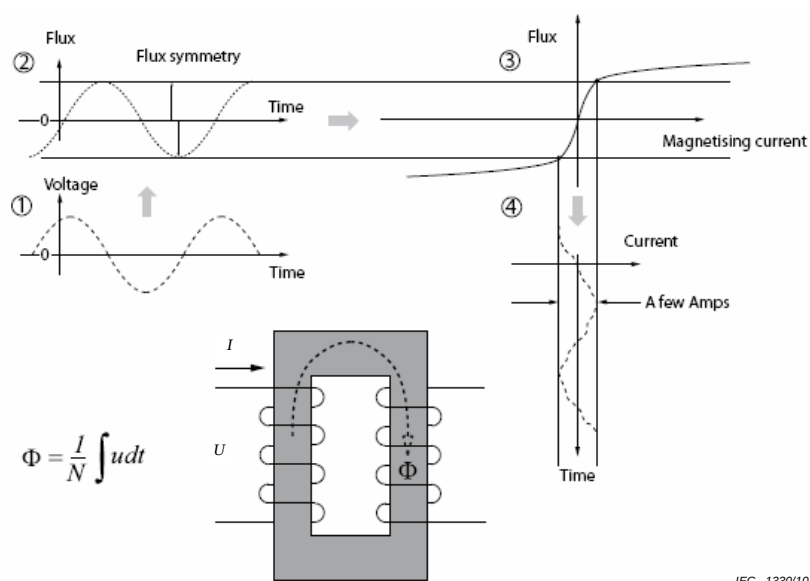
U_{gT} is the voltage across the contact gap of the T-pole

Figure C.1 – Recovery voltages for two different conditions during de-energising of a non-effectively earthed shunt capacitor bank

Annex D (informative)

Simplified single-phase example showing the relationship between winding voltage, core flux and magnetizing current for a power transformer

For an energised no-load transformer in steady state condition the core flux will be symmetric. The flux symmetry in its turn will result in symmetrical and lowest possible magnetizing current. The relationship between voltage, flux and current is shown in Figure D.1.



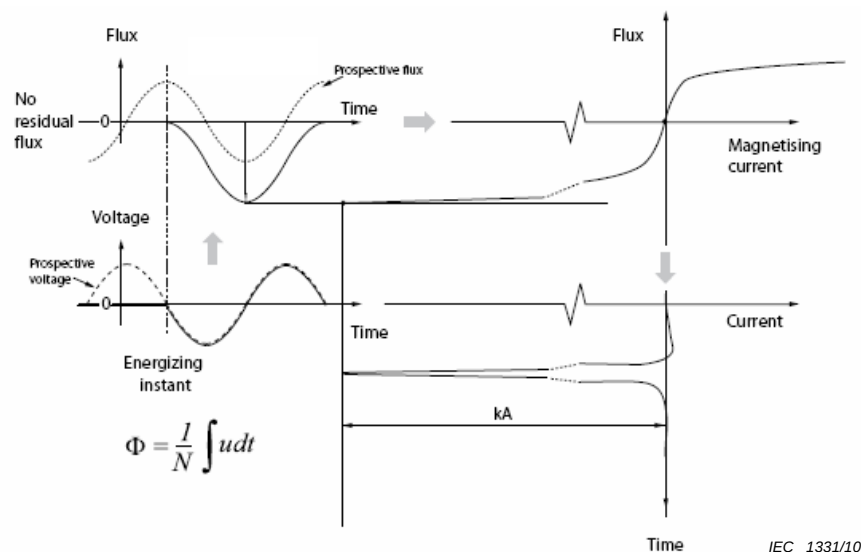
IEC 1330/10

Key

- 1) Steady voltage applied across the transformer winding.
- 2) Steady flux generated by the applied voltage.
- 3) Steady symmetrical flux determining the shape of the magnetizing characteristics (simplified in the figure).
- 4) Resulting steady magnetizing current determined by the shape of the magnetizing characteristics.

Figure D.1 – Relationship between voltage, flux and current in a steady state transformer

Severe flux asymmetry may be introduced at energising by making at unfavourable instants and due to magnetic inertia as shown Figure D.2.



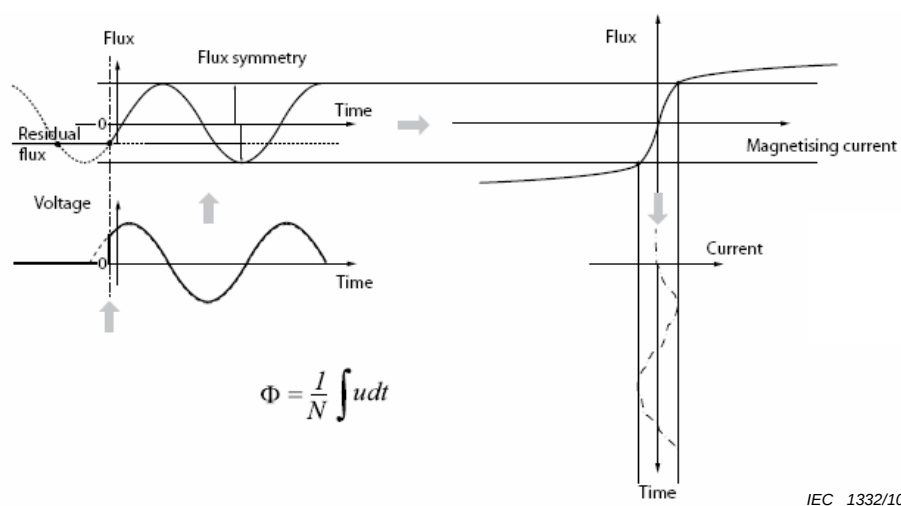
High inrush current as a result of bad selected making instant.

Flux starts off from the residual flux level and with prospective wave shape but with offset is introduced due to magnetic inertia.

Example with no residual flux.

Figure D.2 – Example of flux asymmetry when closing at an unfavourable instant

The solution to create flux symmetry at energising (to imitate the steady-state condition) is to make at instants where the prospective flux meets the residual flux. An example of an energising intended to result in flux symmetry is given in Figure D.3. The transformer is energised at an instant where the prospective flux equals the residual flux.



Minimized inrush current as a result of selection of optimized making instant

(where residual flux meets the prospective flux)

Figure D.3 – Energising a transformer when prospective flux equals residual flux

The described method requires that the residual flux level is known either by measurement or has been previously determined by a previously performed controlled interruption.

For transformer energising it is assumed that the residual flux remains unchanged from the de-energising event until the next energising.

Two different strategies may be used for three-phase switching, rapid closing strategy where all phases are energised within half a cycle or delayed closing strategy where the last poles are closed several cycles after the first pole. The second alternative is mainly useful when switching transformers having magnetic dependent circuits where the flux equalizing will simplify the targeting.

Annex E (informative)

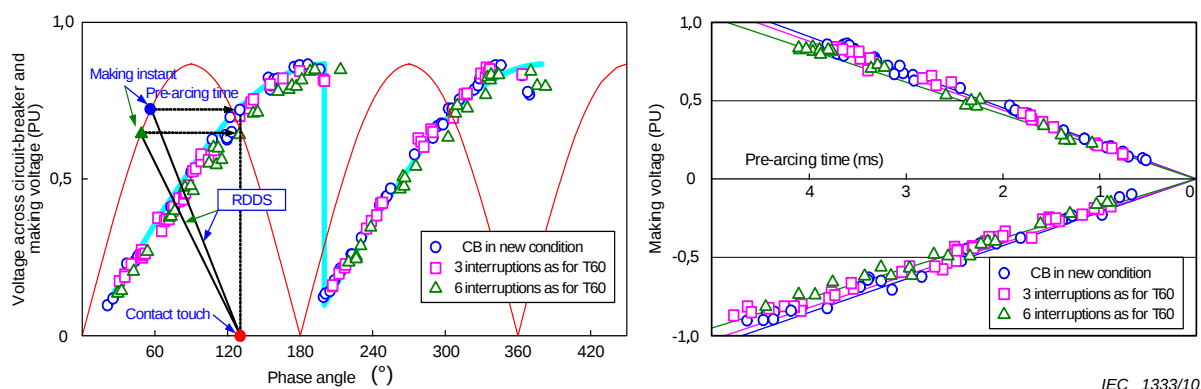
An example of the effect of contact wear on RDDS

The withstand voltage between the contacts of a circuit-breaker decreases with the decreasing contact gap during the closing stroke. The making instant occurs when the voltage across the circuit-breaker exceeds the dielectric withstand of the gap(s). Typically, deviation in this instant may result from mechanical variation of the closing time and variations in the pre-strike behaviour characterized by the RDDS.

Conversely, the withstand voltage between the contacts increases with the increasing contact gap during the opening stroke. The circuit-breaker can interrupt an inductive current successfully and avoid re-ignition when the dielectric withstand between the gaps following interruption always exceeds a transient recovery voltage across the circuit-breaker. The characteristic RRDS is defined by an interruption test of a small inductive current.

The gradual wear of contact systems and nozzles may affect these RDDS and RRDS characteristics and therefore the RDDS measurement is required with the circuit-breaker in new condition as well as in worn condition. For the purposes of this technical report, wear is simulated by pre-conditioning of the circuit-breaker with three T60 interruptions with arcing times as defined for a capacitive current switching class C2 testing.

Figure E.1 shows a typical measurement of pre-strike characteristics plotted against a cycle of power frequency voltage. The measurements consist of three series of tests with a high voltage, gas circuit-breaker in new condition and also following pre-conditioning of three and six T60 interruptions with medium arcing times. The RDDS of the circuit-breaker in worn condition decreases slightly (about 2 %) as compared with the new circuit-breaker. If this is deemed significant to overall performance adaptive compensation could be applied providing that direct detection of the making instant from the current signal is available.



IEC 1333/10

Figure E.1 – Effect of contact wear on RDDS for a high voltage gas circuit-breaker

Annex F (informative)

Examples to support the consideration of various operating conditions as independent of each other

F.1 Variation of closing times with operating conditions with a spring-operated gas circuit-breaker

The variations of the operating time depend on the operating conditions such as the control voltage, ambient temperature, operating pressure and idle time. These characteristics are closely related to a design of circuit-breaker. For example, some designs are affected by changes of the release force of a latch driven by a coil where the movement of the latch mechanism mainly depends on the control voltage and coil current. The ambient temperature also affects it because the resistance of the coil increases with an increase of the temperature.

Similarly the mechanical movement of moving parts in an interrupter mainly depends on the mechanical pressure and the friction of the sliding parts which can be affected by factors such as ambient temperature and idle time.

It has been assumed in this technical report that variations of the operating time can be approximately expressed by consideration of the effects of the variables independently. The following example provides further support for the assumption. It is suggested that the movement can be divided into two periods during each of which only a single major variable dominates the operating time variation over a given range of the temperature.

A typical example of the detailed investigation of closing behaviour with a high-voltage gas circuit-breaker is described. Figure F.1 shows schematically the travel curve and coil current. The closing time (T_{close}) can be divided into two periods from coil current initiation to latch release instant ($T_{\text{latch-release}}$) and then from latch release instant to contact touch ($T_{\text{cont-touch}}$). The figure shows typical measurements of the dependence of $T_{\text{latch-release}}$ and $T_{\text{cont-touch}}$ on the ambient temperature T_{em} and the control voltage V_{control} . The variation of closing time (ΔT_{close}) generally depends primarily on these two variables, T_{em} and V_{control} .

$$T_{\text{close}} = T_{\text{latch-release}} + T_{\text{cont-touch}}$$

$$\Delta T_{\text{close}} = \Delta T_{\text{latch-release}} + \Delta T_{\text{cont-touch}} = f_1(T_{\text{em}}, V_{\text{control}})$$

In the case of $T_{\text{latch-release}}$, the variation can be determined by V_{control} at a fixed T_{em} and can also be considered to increase at a specific rate with increasing T_{em} for a different V_{control} . Therefore, it can be approximately stated that:

$$\Delta T_{\text{latch-release}} = f_2(T_{\text{em}}) + f_3(V_{\text{control}})$$

On the other hand, the variation of $T_{\text{cont-touch}}$ can be determined by only T_{em} since it is not affected by the change of V_{control} .

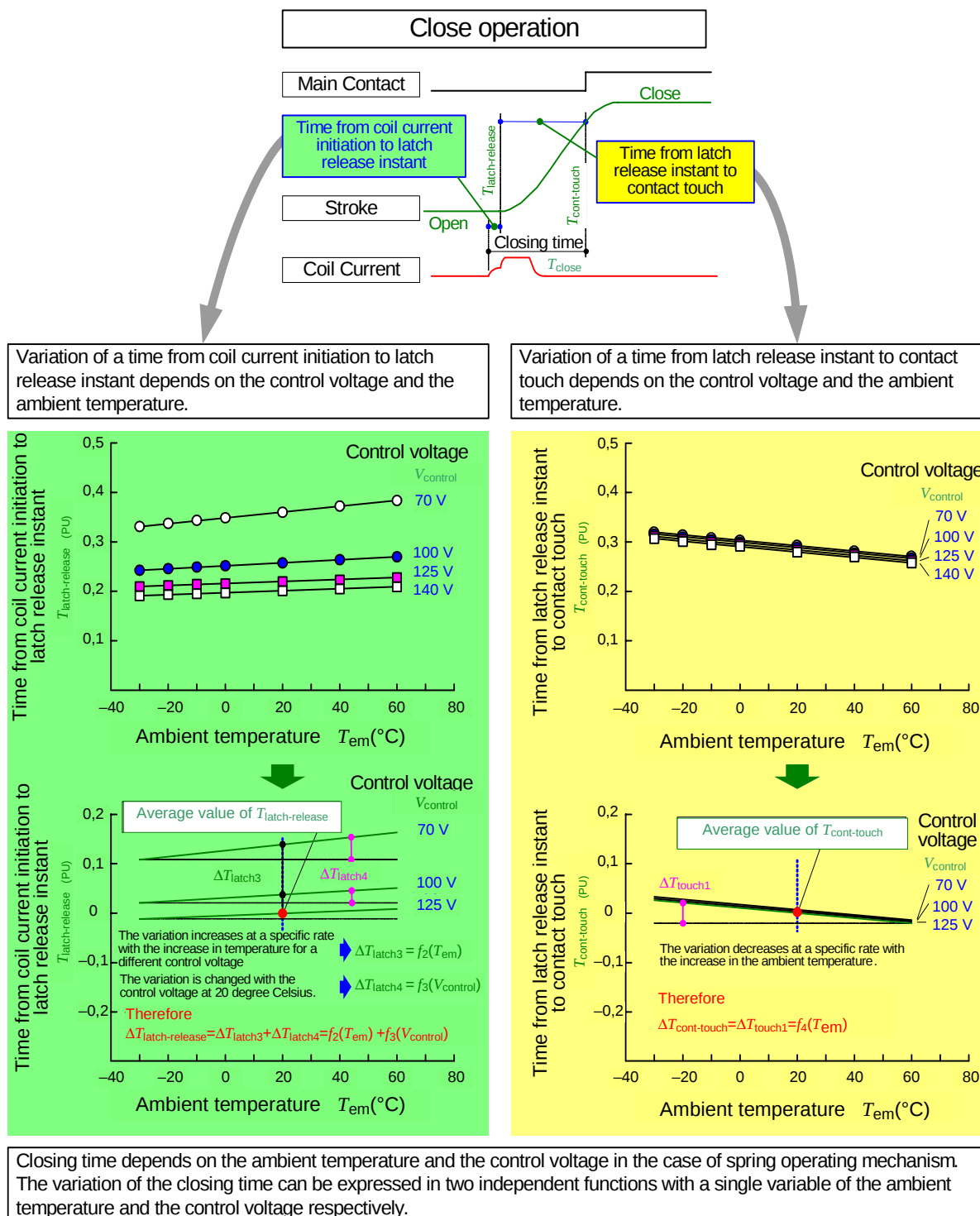
$$\Delta T_{\text{cont-touch}} = f_4(T_{\text{em}})$$

In conclusion, the variation of the closing time for the spring-operated gas circuit-breaker can be expressed as two independent functions with a single variable of T_{em} and V_{control} respectively,

$$\Delta T_{\text{close}} = \Delta T_{\text{latch-release}} + \Delta T_{\text{cont-touch}} = f_3(V_{\text{control}}) + f_5(T_{\text{em}})$$

Of course, the deviation of operating time can be programmed into a controller using a function with two combinations of variables to compensate the operating time dependence on external variables thereby giving a more precise prediction:

$$\Delta T_{\text{close}} = \Delta T_{\text{latch-release}} + \Delta T_{\text{cont-touch}} = f_6(T_{\text{em}}, V_{\text{control}})$$



IEC 1334/10

Figure F.1 – Closing time dependence on the external variables for spring operated gas circuit-breakers

F.2 Variation of the opening time with operating conditions with a pneumatically operated gas circuit-breaker

Another example of detailed investigation into open operations of pneumatically operated gas circuit-breaker is described. Figure F.2 shows a schematic of the travel curve and coil current. The opening time (T_{open}) is divided into two periods from coil current initiation to latch release instant ($T_{\text{latch-release}}$) and then from latch release instant to contact separation ($T_{\text{cont-separation}}$). The variation of opening time (ΔT_{open}) generally depends on three variables of the ambient temperature (T_{em}), the control voltage (V_{control}) and the drive pressure (P_{drive}). The figure also shows typical measurements of $T_{\text{latch-release}}$ and $T_{\text{cont-touch}}$ dependence on T_{em} and V_{control} and P_{drive} .

$$T_{\text{open}} = T_{\text{latch-release}} + T_{\text{cont-separation}}$$

$$\Delta T_{\text{open}} = \Delta T_{\text{latch-release}} + \Delta T_{\text{cont-separation}} = g_1(T_{\text{em}}, V_{\text{control}}, P_{\text{drive}})$$

In case of $T_{\text{latch-release}}$, the variation can be determined by T_{em} and V_{control} since the required force to release the latch is not affected by the change of P_{drive} . From the experiment, the variation depends on only V_{control} at T_{em} higher than 20 °C and is considered to increase at a specific rate with the increasing T_{em} (lower than 20 °C) for a given V_{control} . Therefore, the following can be approximately stated:

$$\Delta T_{\text{latch-release}} = g_2(T_{\text{em}}) + g_3(V_{\text{control}})$$

On the other hand, the variation of $T_{\text{cont-separation}}$ can be determined by only T_{em} and P_{drive} since it is not affected by the change of V_{control} . The variation depends on only P_{drive} at T_{em} higher than 20 °C and it can be considered to increase at a specific rate with the increase in T_{em} (lower than 20 °C) for a given P_{drive} . Therefore, the following can be approximately stated:

$$\Delta T_{\text{cont-separation}} = g_4(T_{\text{em}}) + g_5(P_{\text{drive}})$$

In conclusion, the variation of the opening time for the pneumatically operated gas circuit-breaker can be expressed by three independent functions with a single variable of T_{em} and V_{control} and P_{drive} , respectively,

$$\Delta T_{\text{open}} = \Delta T_{\text{latch-release}} + \Delta T_{\text{cont-separation}} = g_6(T_{\text{em}}) + g_3(V_{\text{control}}) + g_5(P_{\text{drive}})$$

The deviation of operating time can be also programmed into a controller using functions with two combinations of variables to compensate the operating time dependence on external variables more precisely.

$$\Delta T_{\text{open}} = \Delta T_{\text{latch-release}} + \Delta T_{\text{cont-separation}} = g_7(T_{\text{em}}, V_{\text{control}}) + g_8(T_{\text{em}}, P_{\text{drive}})$$

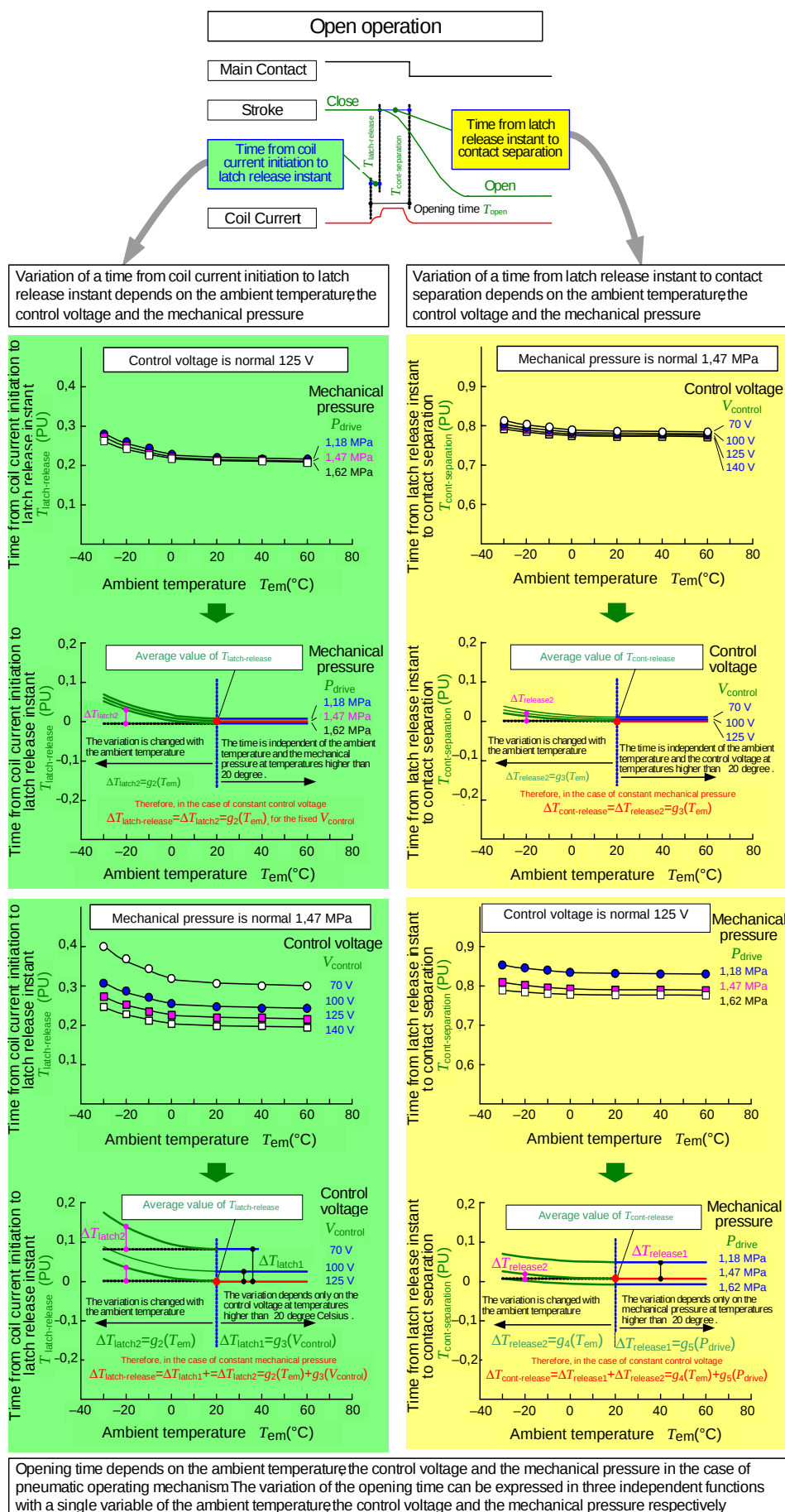


Figure F.2 – Opening time dependence on the external valuables for pneumatically operated gas circuit-breakers

Annex G (informative)

Examples of the effect of idle time upon operating time

The variation of the operating time due to the idle time is caused primarily by time dependent changes of operating fluid and lubricant characteristic between sliding parts.

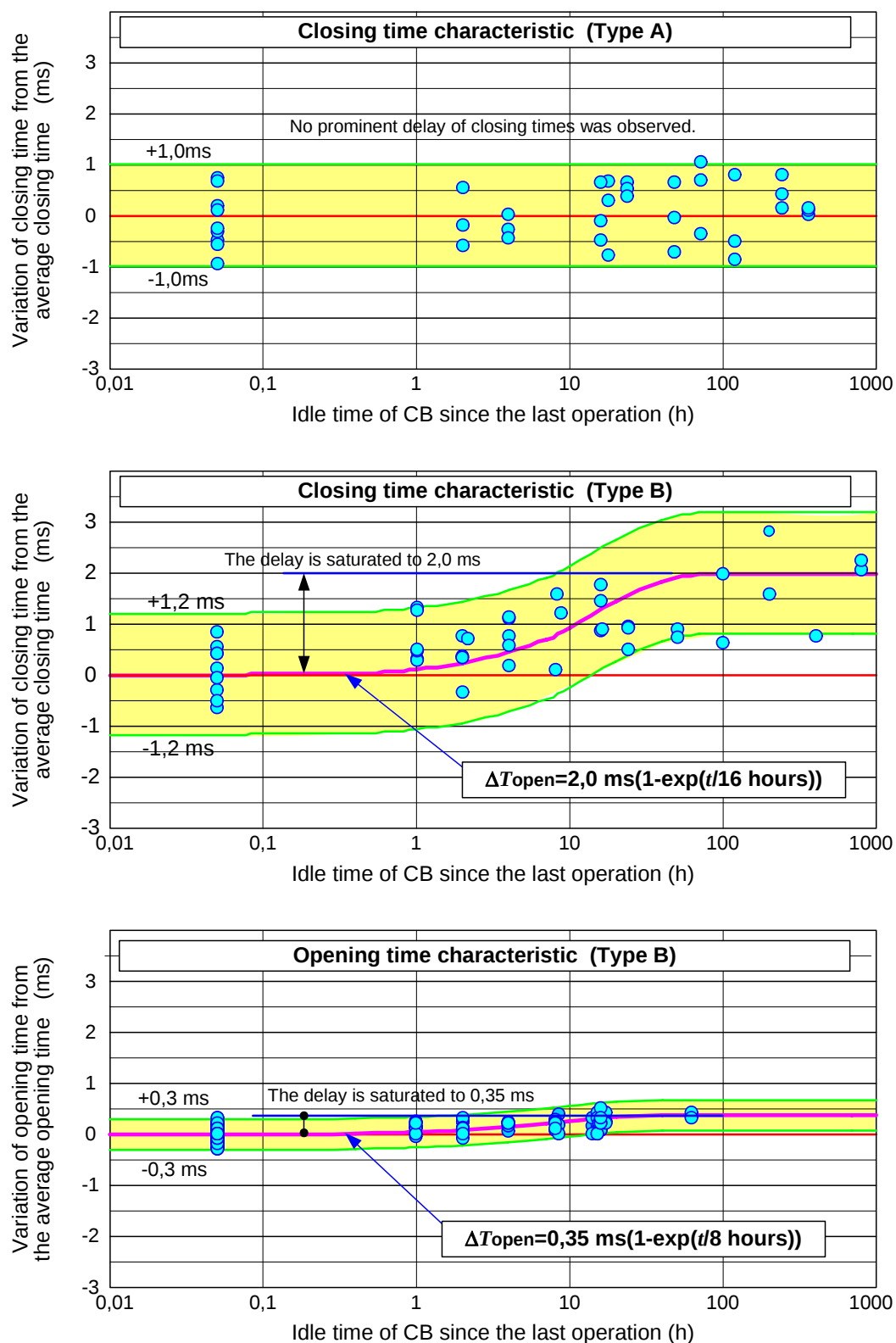
Figure G.1 (top graph) shows the idle time dependence of three high-voltage gas circuit-breakers of the same type after idle time in the range of 2 h to 720 h. The mechanism has lubricating coating on its main sliding parts and it shows small idle time dependence up to 1 000 h.

Figure G.1 (middle graph) shows the test results with two different gas circuit-breakers of the same type. They reveal that an increase of closing time is observed after several hours of idle time and that this increase stabilises at a maximum delay of 2,0 ms if the idle time exceeds 100 hours. This characteristic can be described by:

$$\Delta T_{\text{deviation}} = T_{\text{saturated}} \left(1 - e^{-T_{\text{idle time}} / c} \right)$$

A controller can compensate for the idle time dependence of operating times based on this characteristic. The requirement of the idle time compensation can be mostly judged from a measurement up to 100 hours.

Figure G.1 (lower graph) shows the example of variations of opening time as a function of idle time for three gas circuit-breakers of the same type. The opening time increases slightly with an increase of the idle time. When the characteristic is fitted with an exponential equation, the delay of the opening time will stabilise at about 0,35 ms with a time constant of 8 hours. The deviation from the fitted equation does not exceed $\pm 0,3$ ms so the characteristic can be programmed into a controller to compensate the operating time dependence on the idle time.



IEC 1336/10

Figure G.1 – Idle time characteristics of high-voltage gas circuit-breakers with various mechanism types

Bibliography

- [1] CIGRE technical brochure 262, *Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers: Benefits and Economic Aspects*
 - [2] CIGRE technical brochure 263, *Controlled switching of HVAC Circuit Breakers – Guidance for further applications including unloaded transformer switching*
 - [3] CIGRE technical brochure 264, *Controlled switching of HVAC Circuit Breakers – Planning, Specifications and Testing*
 - [4] IEC 62271-10:2009, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 110: Inductive load switching*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	70
1 Généralités.....	72
1.1 Domaine d'application	72
1.2 Références normatives.....	73
2 Conditions normales et spéciales de service	73
3 Termes et définitions	73
3.1 Termes généraux	73
3.2 Ensembles	73
3.3 Parties d'ensembles	73
3.4 Appareils de connexion	73
3.5 Parties des disjoncteurs	73
3.6 Fonctionnement.....	74
3.7 Grandeurs caractéristiques.....	74
4 Caractéristiques assignées.....	76
4.101 Fenêtre d'établissement assignée d'un disjoncteur	76
4.102 Pouvoir de fermeture en courant de court-circuit.....	76
5 Conception et fabrication.....	77
5.1 Exigences pour les liquides utilisés dans les disjoncteurs.....	77
5.2 Exigences pour les gaz utilisés dans les disjoncteurs	77
5.3 Raccordement à la terre des disjoncteurs	77
5.4 Équipements auxiliaires.....	77
5.5 Fermeture dépendante d'une source d'énergie extérieure.....	77
5.6 Fermeture à accumulation d'énergie	77
5.7 Manœuvre manuelle indépendante	77
5.8 Fonctionnement des déclencheurs.....	78
5.9 Verrouillages à basse et à haute pression	78
5.10 Plaques signalétiques.....	78
5.11 Verrouillages	78
5.12 Indicateur de position	78
5.13 Degrés de protection procurés par les enveloppes.....	78
5.14 Lignes de fuite.....	78
5.15 Étanchéité au gaz et au vide.....	78
5.16 Étanchéité au liquide	78
5.17 Inflammabilité	78
5.18 Compatibilité électromagnétique.....	78
5.19 Emission de rayons X	78
5.20 Corrosion.....	79
5.101 Simultanéité des pôles pendant des manœuvres simples de fermeture et d'ouverture	79
5.101.1 Lignes directrices générales pour les disjoncteurs destinés à fonctionner avec des pôles intentionnellement non simultanés.....	79
5.102 Exigence générale de fonctionnement	79
5.103 Limites de pression des fluides pour la manœuvre.....	80
5.104 Orifice d'évacuation.....	80
6 Essais de vérification des performances et essais de définition des paramètres	80
6.1 Généralités	82

6.2	Essais diélectriques.....	82
6.3	Essais de tension de perturbation radioélectrique (r.i.v.).....	82
6.4	Mesurage de la résistance du circuit principal.....	82
6.5	Essais d'échauffement.....	82
6.6	Essais au courant admissible de courte durée et à la valeur de crête du courant admissible.....	82
6.7	Vérification du degré de protection	82
6.8	Essais d'étanchéité.....	82
6.9	Essais de compatibilité électromagnétique (CEM).....	82
6.101	Essais mécaniques et climatiques	83
6.101.1	Caractéristiques de déplacement mécanique de référence.....	83
6.101.2	Mesurage des performances mécaniques du disjoncteur.....	83
6.102	Dispositions diverses pour les essais d'établissement et de coupure	91
6.102.1	Similitude des éléments	91
6.102.2	Séquence d'essais T100a	91
6.103	Circuits d'essais pour les essais d'établissement et de coupure en court-circuit	101
6.104	Grandeurs pour les essais de court-circuit.....	101
6.104.1	Tension appliquée avant les essais d'établissement en court-circuit.....	101
6.104.2	Courant de fermeture en court-circuit.....	101
6.105	Procédure d'essais en court-circuit	101
6.106	Séquences d'essais de court-circuit fondamentales	101
6.107	Essais au courant critique.....	101
6.108	Essais de défaut monophasé ou de double défaut à la terre	101
6.109	Essais de défaut proche en ligne	102
6.110	Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases	102
6.111	Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs	102
6.111.1	Tension d'essais	102
6.111.2	Séquences d'essais	102
6.112	Exigences spéciales pour les essais de coupure et de fermeture des disjoncteurs de classe E2	103
6.113	Détermination de la vitesse de rupture de la rigidité diélectrique.....	103
6.113.1	Applicabilité	103
6.113.2	Exigences générales.....	103
6.113.3	Mesurages	104
6.113.4	Procédure d'essai privilégiée	104
6.113.5	Procédure d'essai alternative	104
6.114	Détermination de la vitesse d'augmentation de la rigidité diélectrique (RRDS).....	105
6.115	Essai de fermeture contrôlée	105
6.115.1	Applicabilité	105
6.115.2	Exigences générales.....	105
6.115.3	Détermination du moment cible optimal.....	106
6.115.4	Caractéristiques du circuit d'alimentation à fréquence industrielle.....	106
6.115.5	Procédure d'essai	106
7	Essais individuels.....	107
8	Lignes directrices pour le choix des disjoncteurs selon le service	107
9	Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes.....	107

10 Règles pour le transport, le stockage, l'installation, la manœuvre et la maintenance	107
10.101 Mise en service des disjoncteurs pour la commutation contrôlée	107
10.102 Maintenance de la précision de commutation contrôlée	108
11 Sécurité	108
12 Influence du produit sur l'environnement	108
Annexe A (informative) Lignes directrices relatives à la différence temporelle maximale entre les instants d'entrée en contact/ de séparation des contacts des éléments de coupure du même pôle pour les disjoncteurs destinés à la commutation contrôlée	109
Annexe B (informative) Lignes directrices pour l'application des résultats obtenus lors des essais de définition des paramètres/essais de combinaison	115
Annexe C (informative) Essais des disjoncteurs à pôles intentionnellement non simultanés en prenant en compte les défaillances du contrôleur	118
Annexe D (informative) Exemple monophasé simplifié démontrant les relations entre tension d'enroulement, flux dans le noyau et courant de magnétisation pour un transformateur de puissance	121
Annexe E (informative) Exemple des effets de l'usure de contact sur RDDS	124
Annexe F (informative) Exemples soutenant la prise en considération de plusieurs conditions de fonctionnement comme indépendantes les unes des autres	126
Annexe G (informative) Exemple de l'effet du temps de pause sur le temps de fonctionnement	131
Bibliographie	133

Figure A.1 – RDDS par rapport à la tension pour la fermeture sans intervalle entre les éléments et une dispersion mécanique de $\pm 1,0$ ms	110
Figure A.2 – RDDS par rapport à la tension pour la fermeture avec intervalle entre les éléments égal à $1/8$ de cycle et une dispersion mécanique de $\pm 1,0$ ms	111
Figure A.3 – RRDS comparé à la tension de rétablissement sans intervalle entre les éléments et une dispersion mécanique de $\pm 1,0$ ms	113
Figure A.4 – RRDS comparé à la tension de rétablissement avec un intervalle de 2,5 ms entre les éléments et une dispersion mécanique de $\pm 1,0$ ms	113
Figure C.1 – Tensions de rétablissement dans deux situations différentes durant la désexcitation d'une batterie de condensateurs shunt non effectivement reliée à la terre	120
Figure D.1 – Relation entre la tension, le flux et le courant dans un transformateur en état stationnaire	121
Figure D.2 – Exemple d'asymétrie de flux lors de la fermeture à un instant inapproprié	122
Figure D.3 – Excitation d'un transformateur lorsque le flux présumé est égal au flux résiduel	123
Figure E.1 – Effets de l'usure des contacts sur RDDS pour un disjoncteur à gaz à tension élevée	125
Figure F.1 – Dépendance de la durée de fermeture aux variables externes pour les disjoncteurs à gaz à ressorts	128
Figure F.2 – Dépendance de la durée d'ouverture aux variables externes pour les disjoncteurs pneumatiques à gaz	130
Figure G.1 – Caractéristiques du temps de pause des disjoncteurs à haute tension à gaz à) plusieurs types de mécanismes	132

Tableau 1 – Facteurs du courant de fermeture en court-circuit requis pour les disjoncteurs avec fermeture de pôles non simultanée destinés à une utilisation dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre	77
---	----

Tableau 2 – Essais pour les disjoncteurs non testés avec leur propre contrôleur	81
Tableau 3 – Essais pour les disjoncteurs testés avec leur propre contrôleur	81
Tableau 4 – Essais réalisés pour évaluer l'impact de la tension de commande	86
Tableau 5 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 50 Hz, pôles décalés, $\tau = 45$ ms	93
Tableau 6 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 50 Hz, pôles décalés, $\tau = 60$ ms	94
Tableau 7 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 50 Hz, pôles décalés, $\tau = 75$ ms	95
Tableau 8 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 50 Hz, pôles décalés, $\tau = 120$ ms	96
Tableau 9 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 60 Hz, pôles décalés, $\tau = 45$ ms	97
Tableau 10 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 60 Hz, pôles décalés, $\tau = 60$ ms	98
Tableau 11 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 60 Hz, pôles décalés, $\tau = 75$ ms	99
Tableau 12 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 60 Hz, pôles décalés, $\tau = 120$ ms	100
Tableau C.1 – Défaillances possibles du contrôleur et leurs implications sur les contraintes du disjoncteur	118

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 302: Disjoncteurs à courant alternatif à fonctionnement intentionnellement non simultané des pôles

AVANT-PROPOS

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

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'"état de la technique".

La norme CEI 62271-302, qui est un rapport technique, a été établie par le sous-comité 17A: Appareillage à haute tension, du comité d'études 17 de la CEI: Appareillage.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
17A/888/DTR	17A/909/RVC

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

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

Cette norme doit être lue conjointement avec la CEI 62271-100 :2008, à laquelle elle fait référence et qui est applicable sauf spécification particulière dans la présente norme. Pour faciliter le repérage des exigences correspondantes, cette norme utilise une numérotation identique des articles et des paragraphes à celle de la CEI 62271-100. Les modifications de ces articles et de ces paragraphes ont des références identiques; les paragraphes supplémentaires qui n'ont pas d'équivalent dans la CEI 62271-1, sont numérotés à partir de 101.

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

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

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

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 302: Disjoncteurs à courant alternatif à fonctionnement intentionnellement non simultané des pôles

1 Généralités

L'article 1 de la CEI 62271-100 est applicable avec les modifications suivantes:

1.1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62271 fournit des lignes directrices pour la conception, la fabrication, et les essais des disjoncteurs avec fonctionnement intentionnellement non simultané des pôles exclus du domaine d'application de la CEI 62271-100. Sur l'ensemble des autres aspects, le domaine d'application du présent rapport technique est identique à celui de la CEI 62271-100. Le présent rapport technique fournit des informations et lignes directrices supplémentaires pour ce type de disjoncteur et est destiné à être utilisé conjointement avec la CEI 62271-100.

Le fonctionnement intentionnellement non simultané des pôles peut être mis en œuvre mécaniquement ou électriquement, les deux méthodes relevant du domaine d'application du présent rapport technique. Lorsque la mise en œuvre ne s'effectue que par des moyens électriques comme c'est le cas des disjoncteurs à pôle indépendant, il est recommandé de prendre les précautions nécessaires lors de l'application afin d'empêcher que le disjoncteur fonctionne en dehors de ses limites établies.

Les disjoncteurs à fonctionnement intentionnellement non simultané des pôles sont principalement utilisés dans les applications mettant en œuvre de la commutation contrôlée. Le présent rapport technique traite essentiellement des exigences relatives aux disjoncteurs pour de telles applications. Pour de plus amples informations relatives à l'utilisation de la commutation contrôlée, voir les Brochures Techniques CIGRE 262 [1]¹⁾, 263 [2] et 264 [3]. Les exigences relatives aux équipements de protection et/ou de commande associés ne sont pas décrites sauf lorsque ces derniers font partie intégrante du disjoncteur.

Le présent rapport technique étudie deux configurations fondamentales destinées à obtenir un fonctionnement non simultané:

- un disjoncteur destiné à fonctionner de manière non simultanée, fourni et testé indépendamment de tout contrôleur spécifique;
- un disjoncteur destiné à fonctionner de manière non simultanée avec un contrôleur qui lui est propre (pouvant être intégré au disjoncteur) et des détecteurs nécessaires et équipement auxiliaire faisant partie de l'appareil testé.

Les exigences fondamentales relatives à chacun des cas sont identiques, cependant l'interprétation des résultats des essais dépend de la présence du contrôleur dans le programme d'essais. Pour plus de détails sur ce point, voir l'Article 6.

Pour les besoins du présent rapport technique, il a été présumé qu'il n'existait aucune interaction significative entre les effets des différents paramètres (par exemple la température ambiante, la tension de commande etc.), paramètres affectant les performances mécaniques du disjoncteur. Cette hypothèse n'a pas été avérée pour toutes les combinaisons, cependant l'expérience en service avec commutation contrôlée suggère qu'elle est valide dans la

¹⁾ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

pratique pour la plupart des technologies de dispositif d'entraînement généralement utilisées. Certains exemples appuyant cette hypothèse sont présentés dans l'Annexe F.

1.2 Références normatives

Le présent rapport technique ne s'appuie sur aucune référence normative. Les références normatives de la CEI 62271-100 s'applique et sont utilisées lorsque cela s'avère nécessaire afin de compléter les lignes directrices présentées ici.

2 Conditions normales et spéciales de service

L'Article 2 de la CEI 62271-100 est applicable.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de la CEI 62271-100 ainsi que les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1 Termes généraux

3.1.1

temps de pause

temps s'écoulant entre deux manœuvres consécutives (que ce soit d'ouverture ou de fermeture) d'un disjoncteur durant lequel ce dernier demeure stable

3.1.2

compensation

correction prédictive des modifications du temps de fonctionnement en prenant en compte les conditions d'ambiance, du dispositif d'entraînement ainsi que le réseau d'alimentation

3.1.3

adaptation

correction du temps de fonctionnement basée sur l'état de fonctionnement antérieur

3.2 Ensembles

3.2.1

dispositif à commutation contrôlée

combinaison d'un disjoncteur, contrôleur, capteurs nécessaires et équipements auxiliaires requis pour établir une commutation contrôlée

NOTE L'expression « capteurs nécessaires » fait référence aux détecteurs requis afin de fournir des données au dispositif contrôlé et peut inclure des transformateurs de tension, des transformateurs de courant, des capteurs de température etc.

3.3 Parties d'ensembles

Pas de définition particulière.

3.4 Appareils de connexion

Pas de définition particulière.

3.5 Parties des disjoncteurs

Pas de définition particulière.

3.6 Fonctionnement

3.6.1

commutation contrôlée

fonctionnement d'un dispositif de commutation à un moment spécifique, prédéterminé, référencé à la fréquence du courant ou de la tension d'alimentation

NOTE Les termes commutation en un point de l'onde et commutation en un point du cycle sont également largement utilisés afin de décrire la commutation contrôlée.

3.6.2

fonctionnement intentionnellement non simultané des pôles

fonctionnement d'un disjoncteur avec un ou des délais spécifiques, prédéterminés entre le fonctionnement de chacun des pôles

NOTE la non-simultanéité est typiquement mesurée et exprimée en millisecondes ou degrés électriques par rapport au premier pôle qui manœuvre e.g. 0 ms, 0 ms, 5 ms ou 0°, 0°, 90°.

3.6.3

disjoncteur mécaniquement décalé

disjoncteur à fonctionnement non simultané des pôles, fixe, implémenté mécaniquement

3.7 Grandeurs caractéristiques

Lors de l'interprétation des définitions 3.7.133 (durée d'ouverture), 3.7.136 (durée de fermeture) et 3.7.137 (durée d'établissement) de la CEI 62271-100, les délais introduits par les équipements de commutation contrôlée ne sont pas pris en compte lors de l'évaluation de ces grandeurs.

3.7.1

durée d'ouverture (CEI 62271-100, 3.7.133 modifiée)

durée d'ouverture d'un disjoncteur défini selon le mode de déclenchement, comme indiqué ci-dessous, et avec tout dispositif de retard faisant partie intégrante du disjoncteur réglé au minimum:

- a) pour un disjoncteur déclenché par une source quelconque d'énergie auxiliaire, l'intervalle de temps entre l'instant d'excitation du déclencheur d'ouverture du disjoncteur en position fermée et l'instant où les arcs de contact se sont séparés dans tous les pôles;
- b) pour un disjoncteur à déclenchement autonome, l'intervalle de temps entre l'instant où, le disjoncteur étant en position fermée, le courant du circuit principal atteint la valeur de fonctionnement du déclencheur et l'instant où les arcs de contact se sont séparés dans tous les pôles.

NOTE 1 La durée d'ouverture peut varier avec le courant coupé.

NOTE 2 Pour les disjoncteurs comprenant plusieurs éléments de coupure par pôle, l'instant où les arcs de contacts se sont séparés dans tous les pôles correspond à l'instant de la séparation des contacts dans le premier élément du dernier pôle.

NOTE 3 La durée d'ouverture comprend le temps de fonctionnement de tout équipement auxiliaire nécessaire à l'ouverture du disjoncteur et qui fait partie intégrante de ce dernier. Les délais introduits par l'équipement de commutation contrôlée sont exclus de la durée d'ouverture.

NOTE 4 Pour les disjoncteurs à pôles mécaniquement décalés, il convient que des durées d'ouverture séparées soient mentionnées pour chaque pôle.

3.7.2

durée de fermeture

intervalle de temps entre l'excitation du circuit de fermeture du disjoncteur en position ouverte et l'instant où les contacts se touchent dans tous les pôles

NOTE 1 La durée de fermeture comprend le temps de fonctionnement de tout équipement auxiliaire nécessaire à la fermeture du disjoncteur et qui fait partie intégrante de ce dernier. Les délais introduits par l'équipement de commutation contrôlée sont exclus de la durée de fermeture.

NOTE 2 Pour les disjoncteurs à pôles mécaniquement décalés, il convient que des durées de fermeture séparées soient mentionnées pour chaque pôle.

[IEC 62271-100, définition 3.7.136, modifiée]

3.7.3

durée d'établissement

intervalle de temps entre l'excitation du circuit de fermeture du disjoncteur en position ouverte et l'instant où le courant commence à circuler dans le premier pôle

NOTE 1 La durée d'établissement comprend le temps de fonctionnement de tout équipement auxiliaire nécessaire à la fermeture du disjoncteur et qui fait partie intégrante de ce dernier. Les délais introduits par l'équipement de commutation contrôlée sont exclus de la durée d'établissement.

NOTE 2 La durée d'établissement, par exemple, peut varier à cause de la variation de la durée de préarc.

[IEC 62271-100, définition 3.7.137, modifiée]

3.7.4

dispersion mécanique

variation statistique aléatoire du temps de fonctionnement mécanique d'un disjoncteur sans tenir compte de l'influence de variables externes et l'effet de l'usure et/ou de la dérive sur le long terme

NOTE Pour les besoins de cette définition, le terme "variables externes" comprend toutes les variables susceptibles d'avoir un effet systématique sur le temps de fonctionnement telles que la température ambiante, la pression de fonctionnement, et la tension de commande.

3.7.5

vitesse de rupture de la rigidité diélectrique (RDDS)

réduction de la tension de tenue en fonction du temps ou de l'espace de contact durant la fermeture d'un disjoncteur

3.7.6

vitesse d'augmentation de la rigidité diélectrique (RRDS)

augmentation de la tension de tenue en fonction du temps ou de l'espace de contact durant l'ouverture d'un disjoncteur

3.7.7

moment cible pour la fermeture

instant présumé où les contacts se touchent lors d'une manœuvre de fermeture contrôlée

3.7.8

moment cible pour l'établissement

instant présumé de l'établissement du courant lors d'une manœuvre de fermeture contrôlée

3.7.9

moment cible pour l'ouverture

instant présumé de séparation des contacts lors d'une manœuvre d'ouverture contrôlée

3.7.10

fenêtre d'établissement

intervalle de temps autour du moment cible pour l'établissement

NOTE L'établissement au sein d'une fenêtre d'établissement correctement choisie conduira à une tension d'établissement prédéterminée. Afin d'obtenir des valeurs de RDDS présentant un intérêt pratique, le centre de la fenêtre d'établissement ne doit pas correspondre au moment cible pour l'établissement.

3.7.11

fenêtre de fermeture

intervalle de temps autour du moment cible pour la fermeture

3.7.12

tension d'établissement

tension à laquelle le courant est initialisé lors de la manœuvre de fermeture d'un disjoncteur

3.7.13

delta c , auxiliaire (Δc_{aux})

différence de temps entre la manœuvre d'arc de contact et la manœuvre de contact auxiliaire

4 Caractéristiques assignées

L'Article 4 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant.

Caractéristiques assignées à indiquer pour les disjoncteurs fonctionnant avec des pôles intentionnellement non simultanés

a) Fenêtre d'établissement assignée

4.101 Fenêtre d'établissement assignée d'un disjoncteur

La fenêtre d'établissement assignée d'un disjoncteur désigne la fenêtre d'établissement pouvant être atteinte de manière fiable par le disjoncteur donné dans des conditions de commutation particulières et sur la gamme entière de conditions de services spécifiques, d'énergie et d'alimentation auxiliaire spécifique.

Les valeurs privilégiées sont 2 ms, 3 ms et 4 ms.

La fenêtre d'établissement assignée d'un disjoncteur est définie en supposant une compensation correcte des variables systématiques telles que les effets de la température ambiante et de la tension de commande.

La fenêtre d'établissement assignée évaluée de cette manière constitue un indicateur des performances de commutation les mieux contrôlées pouvant être atteintes de manière fiable avec un disjoncteur donné. Les performances de service seront également affectées par les performances des équipements de commande et de compensation associés.

4.102 Pouvoir de fermeture en courant de court-circuit

Il convient d'utiliser les lignes directrices suivantes afin de compléter l'Article 4.103 de la CEI 62271-100.

Les disjoncteurs destinés à la fermeture non simultanée des pôles dans des réseaux à neutre non-relié directement à la terre peuvent, dans le cas d'une fermeture sur défauts triphasés, être soumis à des conditions d'établissement extrêmes plus sévères en comparaison à ceux à fermeture simultanée. Il convient que le courant de fermeture assigné en court-circuit soit défini en tenant compte de la non-simultanéité.

Par exemple, les conditions associées à la fermeture à tension zéro dans un réseau à neutre non-relié directement à la terre sont détaillées dans le Tableau 1. Les angles de ciblage sont 0, 0 et +90 degrés électriques (indiqués par la suite par °) pour chacun des trois pôles. Dans ce cas, il convient que le courant de fermeture assigné en court-circuit conçu pour la fermeture non simultanée soit sélectionné à partir du Tableau 1 en tenant compte de la fréquence assignée ainsi que de la constante de temps spécifiée.

Tableau 1 – Facteurs du courant de fermeture en court-circuit requis pour les disjoncteurs avec fermeture de pôles non simultanée destinés à une utilisation dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre

Valeur X/R		Constante de temps (ms)	Facteur de crête de fermeture	
50 Hz	60 Hz		50 Hz	60 Hz
14	17	45	3,0	3,0
19	23	60	3,0	3,1
24	28	75	3,1	3,1
38	45	120	3,2	3,2

NOTE 1 Pour les disjoncteurs destinés à être utilisés pour des fermetures à tension zéro dans des réseaux à neutre effectivement à la terre, aucun courant de fermeture majoré n'existera, cependant une asymétrie complète sera développée dans chaque phase lors de la fermeture sur défaut préexistant.

NOTE 2 Les équipements branchés en série avec le disjoncteur seront également exposés à des courants de crête majorés si ces derniers surviennent.

5 Conception et fabrication

L'Article 5 de la CEI 62271-100 est applicable avec les ajouts indiqués ci-dessous.

5.1 Exigences pour les liquides utilisés dans les disjoncteurs

Le paragraphe 5.1 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.2 Exigences pour les gaz utilisés dans les disjoncteurs

Le paragraphe 5.2 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.3 Raccordement à la terre des disjoncteurs

Le paragraphe 5.3 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.4 Équipements auxiliaires

Le paragraphe 5.4 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant:

Il convient que tout équipement auxiliaire incorporé à des fins de fermeture contrôlée ne compromette pas le fonctionnement du relais d'antipompage.

5.5 Fermeture dépendante d'une source d'énergie extérieure

Le paragraphe 5.5 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.6 Fermeture à accumulation d'énergie

Le paragraphe 5.6 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.7 Manœuvre manuelle indépendante

Le paragraphe 5.7 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant:

NOTE Il convient que les disjoncteurs testés conformément à ce rapport et destinés à être utilisés avec un contrôleur soient capables de fonctionner occasionnellement sans dommages dans des conditions où le contrôleur est mis hors service, c'est-à-dire des manœuvres non contrôlées. Cependant, de telles manœuvres peuvent avoir des conséquences inacceptables sur le réseau d'alimentation.

5.8 Fonctionnement des déclencheurs

Le paragraphe 5.8 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.9 Verrouillages à basse et à haute pression

Le paragraphe 5.9 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.10 Plaques signalétiques

Le paragraphe 5.10 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant:

Il convient que les plaques signalétiques des disjoncteurs mécaniquement décalés prévus pour des fonctionnements non simultanés des pôles indiquent le délai prévu entre les pôles pour les manœuvres d'ouverture et/ou de fermeture.

Il est recommandé que les plaques signalétiques des disjoncteurs destinés à des fermetures contrôlées indiquent la fenêtre d'établissement assignée.

Il convient que les plaques signalétiques des disjoncteurs testés conformément au présent rapport technique se réfèrent spécifiquement à ce rapport.

5.11 Verrouillages

Le paragraphe 5.11 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.12 Indicateur de position

Le paragraphe 5.12 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.13 Degrés de protection procurés par les enveloppes

Le paragraphe 5.13 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.14 Lignes de fuite

Le paragraphe 5.14 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.15 Étanchéité au gaz et au vide

Le paragraphe 5.15 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.16 Étanchéité au liquide

Le paragraphe 5.16 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.17 Inflammabilité

Le paragraphe 5.17 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.18 Compatibilité électromagnétique

Le paragraphe 5.18 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.19 Emission de rayons X

Le paragraphe 5.19 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.20 Corrosion

Le paragraphe 5.20 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.101 Simultanéité des pôles pendant des manœuvres simples de fermeture et d'ouverture

Le paragraphe 5.101 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant:

5.101.1 Lignes directrices générales pour les disjoncteurs destinés à fonctionner avec des pôles intentionnellement non simultanés

5.101.1.1 Disjoncteurs unipolaires destinés à la commutation contrôlée

Pour les disjoncteurs fonctionnant à un seul pôle et destinés à la commutation contrôlée, les mêmes exigences relatives à l'intervalle entre les pôles que celles pour les disjoncteurs non destinés à la commutation contrôlée s'appliquent étant donné que l'asynchronisme intentionnel sera introduit électroniquement par le contrôleur. Cependant, les conditions de fonctionnement relatives à l'utilisation combinée du contrôleur et du disjoncteur ainsi que l'application réelle détermineront les conditions d'essai requises.

Pour les disjoncteurs destinés à la fermeture contrôlée, il convient que l'asynchronisme prévu pour la fermeture, garanti par le contrôleur, soit utilisé afin de déterminer les conditions d'essai de l'établissement en court-circuit.

Pour les disjoncteurs destinés à être utilisés pour la décharge contrôlée des batteries de condensateurs et dont les réglages visent à minimiser la probabilité de réamorçage, les coefficients de multiplication de la tension définis dans l'Article 6.111.1 s'appliquent.

5.101.1.2 Disjoncteurs tripolaires destinés à la commutation contrôlée

Il convient que le fabricant indique la séquence de manœuvres des pôles prévue du disjoncteur aussi bien pour l'ouverture que pour la fermeture. Il est recommandé que la non simultanéité prévue ainsi que les tolérances associées soient également mentionnées.

Il est recommandé que la non simultanéité prévue pour la fermeture soit utilisée afin de déterminer les conditions d'essai de l'établissement en court-circuit.

Pour les disjoncteurs destinés à être utilisés pour une décharge contrôlée des batteries de condensateurs et dont les réglages visent à minimiser la probabilité de réamorçage, les coefficients de multiplication de la tension définis dans l'Article 6.111.1 s'appliquent.

5.101.1.3 Intervalles de temps entre les éléments de coupure du même pôle.

Si le disjoncteur comporte plusieurs éléments de coupure par pôle, il convient que la différence de temps maximale entre les éléments à la fermeture et/ou l'ouverture soit indiquée et prise en considération lors de la détermination du RDDS total et/ou du RDDS et par conséquent des cibles. Il convient que la non simultanéité des éléments individuels ne dépasse pas un seizième (6,25 %) d'un cycle de la fréquence assignée.

NOTE Les disjoncteurs dotés d'un asynchronisme plus important entre les éléments d'un pôle peuvent se révéler appropriés pour la commutation contrôlée et dans de tels cas, la détermination des paramètres acceptables (ex. RDDS) doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

D'autres lignes directrices relatives aux effets de la différence de temps entre les éléments du même pôle sont disponibles en Annexe A.

5.102 Exigence générale de fonctionnement

Le paragraphe 5.102 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.103 Limites de pression des fluides pour la manœuvre

Le paragraphe 5.103 de la CEI 62271-100 est applicable.

5.104 Orifice d'évacuation

Le paragraphe 5.104 de la CEI 62271-100 est applicable.

6 Essais de vérification des performances et essais de définition des paramètres

L'Article 6 de la CEI 62271-100 est applicable avec les ajouts suivants:

Les essais spécifiques pour les disjoncteurs à pôles intentionnellement non simultanés sont listés dans les Tableaux 2 et 3. Ces essais sont classés dans plusieurs catégories telles que les essais de vérification des performances, les essais de combinaison ou les essais de définition des paramètres.

Les essais de définition des paramètres sont effectués afin d'établir les caractéristiques de fonctionnement du disjoncteur ayant un impact direct sur son application pour la commutation contrôlée. Ces essais ne comportent pas de critères de réussite/échec clairement définis mais fournissent des données pouvant être utilisées afin de caractériser le disjoncteur. Il convient que les résultats de ces essais soient fournis sur demande à l'utilisateur.

Les essais de combinaison sont effectués afin de démontrer la capacité d'un disjoncteur et de son propre contrôleur à remplir leurs critères de conception spécifique tels que la précision mécanique sur une gamme de conditions environnementales pour laquelle une compensation est appliquée. Dans de telles conditions, des critères de réussite/d'échec clairement définis peuvent s'appliquer.

Dans la plupart des cas, les procédures d'essai de combinaison sont identiques, ou très proches des procédures d'essai de définition des paramètres avec pour principale différence l'interprétation des résultats.

De plus amples informations relatives à l'interprétation des résultats des essais de définition des paramètres et des essais de combinaison apparaissent en Annexe B.

Le but du présent rapport technique n'est pas d'effectuer des essais répétés pour la définition des paramètres et pour les essais de combinaison. En gardant cette information à l'esprit et étant donné que les fabricants de disjoncteurs seront normalement amenés à effectuer des essais de définition des paramètres afin de garantir l'aptitude de la conception des disjoncteurs à l'usage pour la commutation contrôlée, il convient de faire tout son possible afin de garantir une utilisation maximale des essais de définition des paramètres par les utilisateurs pour leurs évaluations techniques. Par conséquent, dans la plupart des cas de fourniture de nouveaux équipements de commutation contrôlée (disjoncteur et contrôleur) par un fournisseur habituel, il convient que l'approche exposée dans le Tableau 2 soit adoptée avec évaluation séparée des capacités de compensation et de la compatibilité du contrôleur.

L'approche des essais de combinaison présentée dans le Tableau 3 est destinée à l'utilisation particulière liée à l'application pour des équipements préexistants ou pour un dispositif à commutation contrôlée assemblé à partir de sous-composants provenant de diverses origines pour lesquels les informations fondamentales relatives aux paramètres de fonctionnement ne sont pas clairement définies.

Tableau 2 – Essais pour les disjoncteurs non testés avec leur propre contrôleur

Essais de vérification des performances dépendant de l'application, des caractéristiques assignées ou de la conception	Condition nécessitant l'essai de vérification des performances	Articles
Séquence d'essais T100a	Fermeture contrôlée à tension zéro	6.102.2
Courant de fermeture en court-circuit	Fermeture contrôlée à tension zéro dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre	6.104.2
Essais de commutation de courants capacitifs	Caractéristique de commutation capacitive assignée	6.111
Essai de fermeture contrôlée	Toute application de la commutation contrôlée	6.115
Essai de définition des paramètres		Articles
Mesurage de la dispersion mécanique		6.101.2.1
Impact de la tension de commande		6.101.2.4
Impact de la faible température		6.101.2.5
Impact de la température élevée		6.101.2.6
Impact du niveau d'énergie accumulée		6.101.2.7
Impact du temps de pause		6.101.2.8
Impact de la densité de gaz sur le temps de fonctionnement		6.101.2.9
Détermination de la vitesse de rupture de la rigidité diélectrique		6.113
Détermination de la vitesse d'augmentation de la rigidité diélectrique		6.114

Tableau 3 – Essais pour les disjoncteurs testés avec leur propre contrôleur

Essais de vérification des performances dépendant de l'application, des caractéristiques assignées ou de la conception	Condition nécessitant l'essai de vérification des performances	Articles
Séquence d'essais T100a	Fermeture contrôlée à tension zéro	6.102.2
Courant de fermeture en court-circuit	Fermeture contrôlée à tension zéro dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre	6.104.2
Essais de commutation de courants capacitifs	Commutation capacitive aux caractéristiques assignées	6.111
Essai de fermeture contrôlée	Toute application de la commutation contrôlée	6.115
Essais de définition des paramètres		Articles
Mesurage de la dispersion mécanique		6.101.2.1
Essais de combinaison		
Impact de la tension de commande		6.101.2.4
Impact de la faible température		6.101.2.5
Impact de la température élevée		6.101.2.6
Impact du niveau d'énergie accumulée		6.101.2.7
Impact du temps de pause		6.101.2.8
Impact de la densité de gaz sur le temps de fonctionnement		6.101.2.9

NOTE Pour les disjoncteurs dont la conception met en œuvre un gaz pour l'isolation et/ou pour l'interruption et dont l'influence est significative sur les caractéristiques mécaniques de fonctionnement (ex. disjoncteurs à gaz), les essais détaillés dans 6.101.2.7 et 6.101.2.9 doivent être effectués en combinaison.

6.1 Généralités

Le présent rapport technique introduit le concept d'essais en combinaison c'est-à-dire la réalisation conjointe des essais sur le disjoncteur, le contrôleur et des systèmes auxiliaires associés afin de garantir la précision dans une gamme de conditions environnementales et d'usage.

Il convient que chacun des essais de combinaison soit réalisé en ne faisant varier qu'un seul paramètre (par exemple la tension de commande). Il convient que toutes les autres fonctions de compensation demeurent actives avec des données ne variant pas pendant l'essai. Il convient que les fonctions d'adaptation demeurent actives lorsque des signaux de retour adéquats sont disponibles, par exemple de la part des interrupteurs auxiliaires. Lorsqu'un retour adéquat ne peut pas être obtenu durant les essais, il convient que les fonctions d'adaptation soient désactivées afin de ne pas influencer les résultats des essais. Il est recommandé que le contrôleur soit fourni avec un signal de référence adéquat par rapport auquel sera évaluée la précision des manœuvres.

Pour les dispositifs à commutation contrôlée dotés d'une fonctionnalité adaptative nécessitant un retour électrique du courant ou de la tension primaire des circuits d'essai spécifiques peuvent être requis pour les essais de combinaison.

6.2 Essais diélectriques

Le paragraphe 6.2 de la CEI 62271-100 est applicable.

6.3 Essais de tension de perturbation radioélectrique (r.i.v.)

Le paragraphe 6.3 de la CEI 62271-100 est applicable.

6.4 Mesurage de la résistance du circuit principal

Le paragraphe 6.4 de la CEI 62271-100 est applicable.

6.5 Essais d'échauffement

Le paragraphe 6.5 de la CEI 62271-100 est applicable.

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

Le paragraphe 6.6 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant :

NOTE Les courants de crête majorés pouvant résulter de la fermeture contrôlée dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre auront également un impact sur les équipements branchés en série avec le disjoncteur.

6.7 Vérification du degré de protection

Le paragraphe 6.7 de la CEI 62271-100 est applicable..

6.8 Essais d'étanchéité

Le paragraphe 6.8 de la CEI 62271-100 est applicable..

6.9 Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)

Le paragraphe 6.9 de la CEI 62271-100 est applicable.

6.101 Essais mécaniques et climatiques

Le paragraphe 6.101 de la CEI 62271-100 est applicable avec les compléments suivants:

6.101.1 Caractéristiques de déplacement mécanique de référence

Le paragraphe 6.101 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant :

Pour les disjoncteurs mécaniquement décalés, la caractéristique de déplacement mécanique de référence de chacun des pôles peut varier. Dans de tels cas, il convient de mesurer la caractéristique de déplacement mécanique de référence pour chacun des pôles.

6.101.2 Mesurage des performances mécaniques du disjoncteur

Il convient de déterminer les durées de fermeture et d'ouverture ainsi que leur variation en fonction de la température de l'air ambiant, du temps de pause, de la tension de commande, de la densité de gaz et du niveau d'énergie accumulée (le cas échéant). Il convient de faire varier la variable à l'essai durant les séquences d'essais. Il est recommandé que les autres valeurs soient quant à elles maintenues à une valeur stable durant toute la durée de la séquence d'essais.

Pour déterminer les réglages cibles pour la commutation contrôlée, il est important que les temps de fonctionnement mécaniques soient correctement mesurés. Les techniques de mesurage se révélant adéquates pour les applications sans commutation contrôlée peuvent ne pas être suffisamment précises pour la commutation contrôlée. Il convient que des techniques de mesurage précises soient appliquées durant les essais en laboratoire, les essais en production/les essais de routine et les essais sur site durant la mise en service et la maintenance.

Les effets dynamiques tels que le rebondissement de contact peuvent être importants et il est recommandé qu'il n'y ait aucun "filtrage" du signal mesuré. Ce filtrage du signal peut éliminer le premier point de contact de touché / séparation et fausser ainsi la caractéristique de la durée d'ouverture/de fermeture.

Selon le système de contact utilisé, et particulièrement la configuration des arcs de contact ou des anneaux de garde, des techniques telles que le mesurage de la résistance dynamique ou l'utilisation d'équipements dédiés à l'essai peuvent être utilisés.

Dans le cas d'essai de combinaison, il est recommandé que le fournisseur déclare le temps de fonctionnement moyen prévu du dispositif à l'essai pour chacune des conditions d'essai requises. Il est recommandé que la variation entre le temps de fonctionnement moyen déclaré et celui mesuré soit déterminée.

6.101.2.1 Mesurage de la dispersion mécanique des contacts principaux, des contacts auxiliaires et des détecteurs de position

Il est recommandé que les contacts principaux des disjoncteurs, les contacts auxiliaires et les détecteurs de position destinés à être utilisés pour le retour de position dans un schéma à commutation contrôlée soient testés afin de garantir leur précision et leur répétabilité. La diffusion mécanique désigne une fonction aléatoire du disjoncteur lui-même et ne peut pas être compensée par un contrôleur. De plus, la diffusion du contrôleur est considérée comme négligeable comparée à celle du disjoncteur. Compte tenu de cette information, il convient que les essais du présent article soient toujours effectués uniquement sur le disjoncteur ou sur le disjoncteur avec le contrôleur désactivé.

NOTE Dans le cas où le contrôleur fait partie intégrante du disjoncteur et ne peut pas être désactivé ces essais peuvent être effectués avec le contrôleur en service.

Il convient que le mesurage de la diffusion mécanique soit effectué dans des conditions stables pour toutes les variables d'influence (telles que la température, la tension de commande, la densité de gaz et le niveau d'énergie accumulée).

Il convient que le mesurage de la diffusion mécanique du disjoncteur, et des temps de fonctionnement de l'interrupteur auxiliaire et du détecteur soient combinés avec la séquence d'essais des manœuvres mécaniques normales décrite dans l'Article 6.101.2 de la CEI 62271-100.

Lorsqu'aucun contact auxiliaire propre n'est identifié pour la commutation contrôlée, il convient d'effectuer les essais sur au moins trois contacts auxiliaires (normalement ouverts) sélectionnés afin de représenter la position de début, intermédiaire et de fin de contacts auxiliaires. Lorsqu'un commutateur ou un détecteur propre est utilisé, seul cet élément nécessite d'être testé.

Il est recommandé de régler la tension de commande à $\pm 3\%$ de la valeur spécifique et il convient que la baisse de tension mesurée aux bornes de la bobine ne dépasse pas 5 % de la valeur assignée.

Il convient que la densité de gaz (le cas échéant) soit la valeur assignée. Pour les disjoncteurs comportant plusieurs valeurs assignées de densité de gaz, la réalisation des essais avec une seule valeur est suffisante afin de couvrir tous les cas.

NOTE 1 Il est considéré que les variations de la densité de gaz assignée n'influence pas significativement la dispersion du disjoncteur.

Lorsque c'est nécessaire, il convient d'enregistrer dans le rapport d'essai le niveau d'énergie accumulée pour chaque manœuvre d'essai.

Il est recommandé que la séquence d'essais se déroule de la manière suivante:

- a) Il est recommandé que le disjoncteur fonctionne 100 fois à tension de commande assignée et pression d'entraînement assignée et que le fonctionnement du principal contact soit enregistré à l'aide d'un enregistreur de transitoire approprié. Pour chacune des manœuvres, il est recommandé que Δc_{aux} de chaque contact auxiliaire soit mesuré et enregistré. Il est recommandé de répéter cette séquence à la fois pour les manœuvres d'ouverture et pour les manœuvres de fermeture.
- b) Il est recommandé de répéter la séquence (a) à l'aide d'une tension de commande ne dépassant pas la tension de fermeture de la bobine assignée (NOTE 2).
- c) Lorsque c'est nécessaire, il est recommandé de répéter la séquence (a) en utilisant le niveau d'énergie accumulée minimal pour une manœuvre de fermeture.

NOTE 2 Il est considéré que la tension assignée minimale pour l'équipement de commande est la même que celle pour fermer les bobines. Il est donc inutile de tester la précision mécanique du disjoncteur à des tensions faibles telles que la tension d'ouverture minimale.

NOTE 3 Il est considéré que les variables externes comme la température n'affectent pas de manière significative la valeur de Δc_{aux} et qu'aucun essai ultérieur de ce paramètre n'est requis durant les autres séquences d'essais définies dans le présent rapport technique

Il est recommandé que les séquences d'essais soient effectuées sur le disjoncteur au début et à la fin de l'essai relatif aux manœuvres mécaniques sans nécessiter de manœuvres supplémentaires.

Il est recommandé que les temps de fonctionnement maximal, minimal et moyen des principaux contacts mesurés dans chaque condition d'essai et les écarts types associés (σ) soient classés et fassent l'objet d'un rapport.

Il est recommandé que l'intervalle $\pm 3\sigma$ calculé à partir des résultats des essais ne soit pas supérieur à l'intervalle de temps de fermeture défini par la fenêtre d'établissement assignée,

cependant, pour des besoins pratiques, la précision doit être plus importante afin de prendre en compte les effets des autres variables.

Pour chacun des contacts auxiliaires à l'essai, il est recommandé que la valeur maximale, minimale et moyenne de Δc_{aux} obtenue toutes les 100 manœuvres soit déterminée et fasse l'objet d'un rapport.

6.101.2.2 Mesurage de l'impact de l'usure électrique sur la précision des contacts auxiliaires et des détecteurs de position

Il est recommandé que le décalage temporel entre le contact principal et les contacts auxiliaires soit mesuré avant et après au minimum trois interruptions de court-circuit avec un courant d'au moins la valeur T60 correspondante. Ce mesurage peut être incorporé dans l'essai RDDS détaillé en 6.112 mais peut également être effectué lors des essais de court-circuit ou de commutation capacitive où un préconditionnement est requis.

Il est recommandé que les résultats obtenus soient classés et fassent l'objet d'un rapport.

6.101.2.3 Mesurage du déplacement des éléments

Il convient que le décalage temporel entre chaque élément du pôle d'un disjoncteur à multi-éléments soit mesuré pour un disjoncteur neuf.

Il est recommandé que les résultats obtenus soient classés et fassent l'objet d'un rapport.

Les lignes directrices relatives à l'impact de la dispersion entre les éléments sont présentées en Annexe A.

NOTE Une dispersion significative entre les éléments est inhabituelle pour les disjoncteurs dotés d'un seul entraînement par pôle, cependant ceux dotés de plusieurs entraînements peuvent connaître des variations significatives.

6.101.2.4 Impact de la tension de commande

L'impact de la tension de commande peut être évalué sur un disjoncteur (essai de définition des paramètres) ou sur un disjoncteur doté d'un contrôleur propre (essai de combinaison). Dans les deux cas, la procédure d'essai fondamentale est identique, comme détaillé dans le Paragraphe 6.101.2 de la CEI 62271-100.

6.101.2.4.1 Procédure d'essai

Il est recommandé que le mesurage de l'impact de la tension de commande sur le temps de fonctionnement soit effectué dans des conditions stables pour toutes les autres variables d'influence telles que la température et la pression d'entraînement (si réglable). Pour faciliter la réalisation des essais, il est recommandé que les mesurages soient effectués conjointement à l'essai relatif aux manœuvres mécaniques du disjoncteur comme défini dans la CEI 62271-100.

Il est recommandé que la tension de commande appliquée au disjoncteur (et au contrôleur) varie entre sa valeur minimale et sa valeur maximale spécifiées (Tableau 4). Il est recommandé que le temps de fonctionnement caractéristique pour chaque niveau de tension à l'essai soit la moyenne des valeurs mesurées.

Tableau 4 – Essais réalisés pour évaluer l'impact de la tension de commande

Type de manœuvre	Niveau de tension	Nombre de manœuvres
Ouverture	Tension de commande minimale (70 %)	30 manœuvres consécutives
	Tension de commande assignée (100 %)	30 manœuvres consécutives
	Tension de commande maximale (110 %)	30 manœuvres consécutives
	Niveau supplémentaire (85 %)	30 manœuvres supplémentaires
Fermeture	Tension de commande minimale (85 %)	30 manœuvres consécutives
	Tension de commande assignée (100 %)	30 manœuvres consécutives
	Tension de commande maximale (110 %)	30 manœuvres consécutives
	Niveau supplémentaire (93 %)	30 manœuvres supplémentaires

Il convient que la valeur moyenne des temps de fonctionnement pour chaque élément de coupure soit calculée en s'appuyant sur au moins 30 manœuvres consécutives à chaque niveau de tension (minimal, assigné et maximal) de l'essai d'endurance mécanique standard.

Il est recommandé de régler la tension de commande à ± 3 % de la valeur spécifique et il convient que la baisse de tension mesurée aux bornes de la bobine ne dépasse pas 5 % de la valeur assignée.

Il est recommandé de mesurer la tension aux bornes du mécanisme d'entraînement, ou, lorsque la conception ne le permet pas, de le faire le plus proche possible du mécanisme.

6.101.2.4.2 Résultats des essais

Il est recommandé que les temps de fonctionnement maximal, minimal et moyen mesurés dans chaque condition d'essai et les écarts types associés soient classés et fassent l'objet d'un rapport. Dans le cas d'essais de combinaison, il convient que la différence entre le temps de fonctionnement moyen déclaré et celui mesuré dans chaque condition d'essai fasse l'objet d'un rapport.

6.101.2.5 Impact de la faible température

L'impact de la faible température peut être évalué sur un disjoncteur (essai de définition des paramètres) ou sur un disjoncteur doté de son propre contrôleur (essai de combinaison). Dans les deux cas, la procédure d'essai fondamentale est identique, comme détaillé dans 6.101.2.5.1.

6.101.2.5.1 Procédure d'essai

Pour l'essai de stabilité à basse température, le Paragraphe 6.101.3.3 de la CEI 62271-100 est applicable avec la condition additionnelle suivante: pour les disjoncteurs à pôles décalés en vue d'obtenir la non simultanéité voulue, les essais peuvent être réalisés sur un disjoncteur à pôles non décalés de conception similaire.

Il est recommandé que la température de l'air ambiant diminue jusqu'à la valeur minimale, appropriée, selon les conditions de service voulues du disjoncteur.

Si l'essai à faible température est réalisé immédiatement après l'essai à température élevée décrit dans l'Article 6.101.3.3 de la CEI 62271-100, les articles (a) et (b) ci-dessous ne sont pas pris en compte.

- a) Il est recommandé que le disjoncteur à l'essai soit réglé conformément aux consignes du fabricant.
- b) Il est recommandé que les durées d'ouverture et de fermeture soient enregistrées durant 10 manœuvres d'ouverture et 10 manœuvres de fermeture à une température de l'air ambiant de $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (T_A). Il est recommandé que les temps de fonctionnement caractéristiques pour l'ouverture et la fermeture à cette température de l'air ambiant soient calculés comme valeur moyenne de ces manœuvres.
- c) Lorsque le disjoncteur est en position fermée, il est recommandé que la température de l'air ambiant soit diminuée par tranches $\leq 15^{\circ}\text{C}$ jusqu'à atteindre la température ambiante minimale voulue (T_L). A chaque tranche de température, il convient que le disjoncteur reste en position fermée jusqu'à ce qu'il se stabilise thermiquement. Pour les mesurages effectués à température minimale, il convient que les alimentations du réchauffeur demeurent actives.
- d) A chaque tranche de température, il est recommandé que 10 manœuvres d'ouverture et 10 manœuvres de fermeture soient réalisées, et que les temps de fonctionnement soient enregistrés. Il est recommandé que les temps de fonctionnement caractéristiques à chaque tranche de température pour l'ouverture et la fermeture soient calculés comme valeur moyenne de ces manœuvres.
- e) Il convient que la température de l'air soit augmentée jusqu'à atteindre la température de l'air ambiant T_A .
- f) Après stabilisation thermique du disjoncteur à température ambiante T_A , il convient de vérifier à nouveau les caractéristiques de fonctionnement du disjoncteur, comme au point b), afin de les comparer avec les caractéristiques initiales.

Il convient d'exclure la première manœuvre à chaque niveau de température pour le calcul de la caractéristique de temps de fonctionnement afin d'éliminer dans le calcul les effets du temps de pause.

NOTE L'utilisation de seulement 10 manœuvres pour établir les caractéristiques de fonctionnement a une validité statistique limitée cependant elle est considérée comme étant suffisamment exacte pour déterminer la relation entre la durée de fonctionnement et la température ambiante. En cas de doute des nombres de manœuvres plus importants peuvent être utilisés pour améliorer la validité statistique.

6.101.2.5.2 Résultats des essais

Il est recommandé que les temps de fonctionnement maximal, minimal et moyen mesurés dans chaque condition d'essai et les écarts types associés soient classés et fassent l'objet d'un rapport. Dans le cas d'essais de combinaison, il convient que l'erreur entre le temps de fonctionnement moyen déclaré prévu et celui mesuré dans chaque condition d'essai fasse l'objet d'un rapport.

6.101.2.6 Impact de la température élevée

L'impact de la température élevée peut être évalué sur un disjoncteur (essai de définition des paramètres) ou sur un disjoncteur doté de son propre contrôleur (essai de combinaison). Dans les deux cas, la procédure d'essai fondamentale est identique, comme détaillé dans le paragraphe 6.101.2.6.1.

6.101.2.6.1 Procédure d'essai

Pour l'essai de stabilité à haute température, l'Article 6.101.3.4 de la CEI 62271-100 est applicable avec la condition additionnelle suivante: pour les disjoncteurs à pôles décalés en vue d'obtenir la non simultanéité voulue, les essais peuvent être réalisés sur un disjoncteur présentant une conception non décalée similaire.

Pour faciliter les essais, l'essai de stabilité à température élevée peut être effectué lors de la phase de chauffage (n) "non contrôlée" des essais à haute température décrits dans le paragraphe 6.101.3.4 de la CEI 62271-100.

Si l'essai à température élevé est réalisé immédiatement après l'essai à faible température décrit dans l'Article 6.101.3.3 de la CEI 62271-100, les points (a) et (b) ci-dessous ne sont pas pris en compte.

- a) Il est recommandé que le disjoncteur à l'essai soit réglé conformément aux consignes du fabricant.
- b) Il est recommandé que les durées d'ouverture et de fermeture soient enregistrées durant 10 manœuvres d'ouverture et 10 manœuvres de fermeture à une température de l'air ambiant de $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (T_A). Il est recommandé que les temps de fonctionnement caractéristiques pour l'ouverture et la fermeture à cette température de l'air ambiant soient calculés comme valeur moyenne de ces manœuvres.
- c) Lorsque le disjoncteur est en position fermée, il est recommandé que la température de l'air ambiant soit diminuée par tranches $\leq 15^{\circ}\text{C}$ jusqu'à atteindre la température ambiante maximale voulue (T_H), conformément à la limite supérieure de la température de l'air. A chaque tranche de température, il convient que le disjoncteur reste en position fermée jusqu'à ce qu'il se stabilise thermiquement.
- d) Il est recommandé que 10 manœuvres d'ouverture et 10 manœuvres de fermeture soient réalisées, et que les temps de fonctionnement soient enregistrés. Il est recommandé que les temps de fonctionnement caractéristiques à chaque tranche de température pour l'ouverture et la fermeture soient calculés comme valeur moyenne de ces manœuvres.
- e) Il convient que la température de l'air soit diminuée jusqu'à atteindre la température de l'air ambiant T_A .
- f) Après stabilisation thermique du disjoncteur à la température ambiante T_A , il convient de vérifier à nouveau les caractéristiques de fonctionnement du disjoncteur, comme présenté au point b), afin de les comparer avec les caractéristiques initiales.

Il convient d'exclure la première manœuvre à chaque niveau de température pour le calcul de la caractéristique de temps de fonctionnement afin d'éliminer dans le calcul les effets du temps de pause.

NOTE L'utilisation de seulement 10 manœuvres pour établir les caractéristiques de fonctionnement a une validité statistique limitée cependant elle est considérée comme étant suffisamment exacte pour déterminer la relation entre la durée de fonctionnement et la température ambiante. En cas de doute des nombres de manœuvres plus importants peuvent être utilisés pour améliorer la validité statistique.

6.101.2.6.2 Résultats des essais pour l'essai de définition des paramètres

Il est recommandé que les temps de fonctionnement maximal, minimal et moyen mesurés dans chaque condition d'essai et les écarts types associés soient classés et fassent l'objet d'un rapport. Dans le cas d'essais de combinaison, il convient que l'erreur entre le temps de fonctionnement moyen déclaré prévu et celui mesuré dans chaque condition d'essai fasse également l'objet d'un rapport.

6.101.2.7 Impact du niveau d'énergie accumulée pour le fonctionnement

L'impact de l'énergie accumulée peut être évalué sur un disjoncteur (essai de définition des paramètres) ou sur un disjoncteur doté de son propre contrôleur (essai de combinaison). Dans les deux cas, la procédure d'essai fondamentale est identique, comme détaillé dans 6.101.2.7.1.

6.101.2.7.1 Procédure d'essai

Il convient que le mesurage de l'impact du niveau d'énergie accumulée soit effectué dans des conditions stables pour toutes les autres variables d'influence telles que la température et la tension de commande.

Pour les mécanismes pouvant fonctionner sur une gamme de conditions d'énergie accumulée, tels que les mécanismes à fluide pressurisé par exemple, il convient que l'impact des variations du niveau d'énergie accumulée soit mesuré.

Il convient que le niveau d'énergie accumulée du mécanisme du disjoncteur varie entre sa valeur maximale et sa valeur minimale en au moins cinq étapes (tranches) identiques. A chaque niveau, il convient que le temps de fonctionnement du disjoncteur soit mesuré durant 30 manœuvres d'ouverture et 30 manœuvres de fermeture. Il est recommandé que le temps de fonctionnement caractéristique pour chaque pression d'essai soit la moyenne des valeurs mesurées.

6.101.2.7.2 Résultats des essais

Il est recommandé que les temps de fonctionnement maximal, minimal et moyen mesurés dans chaque condition d'essai et les écarts types associés soient classés et fassent l'objet d'un rapport. Dans le cas d'essais de combinaison, il convient que l'erreur entre le temps de fonctionnement moyen déclaré prévu et celui mesuré dans chaque condition d'essai fasse également l'objet d'un rapport.

6.101.2.8 Impact du temps de pause

L'impact du temps de pause peut être évalué sur un disjoncteur (essai de définition des paramètres) ou sur un disjoncteur doté de son propre contrôleur (essai de combinaison). Dans les deux cas, la procédure d'essai fondamentale est identique, comme détaillé dans 6.101.2.8.1.

6.101.2.8.1 Procédure d'essai

Il convient que l'impact du temps de pause sur les temps de fonctionnement (fermeture et ouverture) du disjoncteur soit mesuré en réalisant une séquence de manœuvres à vide dans des conditions assignées de tension d'alimentation auxiliaire, de pression fonctionnelle du milieu d'interruption et de pression fonctionnelle (niveau d'énergie accumulée) pour le fonctionnement (le cas échéant). Il convient que les conditions environnementales ambiantes durant l'essai soient stables afin que la température ne présente aucun effet sur le temps de fonctionnement. Lorsqu'il est impossible d'atteindre cette stabilité, il est recommandé de se reporter aux résultats des essais à température élevée et à faible température afin d'éliminer, autant que possible, les effets systématiques de la température sur les résultats de l'essai relatif au temps de pause.

L'utilisation de dispositions alternatives du disjoncteur est acceptable à condition que les conditions correspondantes de l'Article 6.101.3.1 de la CEI 62271-100 soient remplies.

NOTE 1 Il est reconnu qu'il est difficile de faire la distinction entre les faibles effets du temps de pause et la dispersion mécanique normale, cependant, il est recommandé que la procédure d'essai proposée s'avère suffisante afin d'identifier les principaux effets du temps de pause se révélant importants pour l'application satisfaisante de la commutation contrôlée.

Il convient que l'influence de chaque temps de pause requis par la procédure d'essai soit évaluée à partir d'au moins six mesurages. Ceci peut être effectué à l'aide de un ou plusieurs échantillons d'essai afin de réduire la durée totale des essais.

La procédure d'essai prend en compte les temps de pause ne dépassant pas une semaine. Il s'agit de la durée maximale pendant laquelle un disjoncteur "fonctionnant régulièrement" peut rester en état stationnaire durant un service normal. Il est recommandé que les disjoncteurs destinés à la commutation contrôlée mais destinés à ne fonctionner que très rarement soient soumis à une procédure d'essai de longue durée faisant l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

Il est recommandé que les équipements de conditionnement auxiliaires tels que les réchauffeurs soient excités comme en service normal.

Au début de l'essai, il convient que les temps de fonctionnement caractéristiques du disjoncteur, comme déclaré par le fabricant, soient vérifiés au moyen d'au minimum cinq manœuvres d'ouverture et cinq manœuvres de fermeture.

Il est recommandé que le disjoncteur reste en position ouverte, et séparément en position fermée pour des temps de pause d'environ:

- 1 h;
- 2 h;
- 4 h;
- 8 h;
- 16 h;
- 32 h;
- 64 h;
- 168 h.

Après chaque période de temps de pause, il convient que le disjoncteur fonctionne (ouverture ou fermeture) et que le temps de fonctionnement pour la première manœuvre soit mesuré et enregistré. Il convient que l'écart avec le temps de fonctionnement de référence soit calculé et enregistré. Il convient que cinq cycles de fonctionnement ultérieurs (fermeture et ouverture) soient ensuite effectués et que les temps de fonctionnement soient mesurés et enregistrés.

Pour faciliter les essais, l'ordre des périodes de temps de pause ainsi que l'ordre des manœuvres requises (fermeture ou ouverture) après chaque période de temps de pause est facultative.

NOTE 2 Par exemple, l'essai débute avec une période de temps de pause de 8 h à 7 h suivie des premières manœuvres mécaniques à 15 heures. Le disjoncteur est de nouveau au repos pour une période de 16 heures jusqu'à 7h le matin suivant suivie de la seconde manœuvre mécanique.

NOTE 3 Des exemples de résultats d'essai relatif au temps de pause sont présentés, pour information, en Annexe G.

NOTE 4 Il peut s'avérer utile de mesurer la vitesse de contact en complément du temps de fonctionnement afin de bien faire la distinction entre les effets de verrouillage au début du déplacement et les modifications au niveau de la caractéristique de déplacement de contact.

NOTE 5 Dans certains cas c'est-à-dire les disjoncteurs destinés à la refermeture de la ligne contrôlée, il peut s'avérer plus approprié de remplacer les simples manœuvres d'ouverture dans la séquence ci-dessus par des séquences ouverture-fermeture.

6.101.2.8.2 Résultats des essais

Il est recommandé que les temps de fonctionnement maximal, minimal et moyen mesurés dans chaque condition d'essai et les écarts types associés soient classés et fassent l'objet d'un rapport. Dans le cas d'essais de combinaison, il convient que l'erreur entre le temps de fonctionnement moyen déclaré prévu et celui mesuré dans chaque condition d'essai fasse également l'objet d'un rapport.

6.101.2.9 Impact de la densité de gaz sur l'interruption

L'impact de la densité de gaz peut être évalué sur un disjoncteur (essai de définition des paramètres) ou sur un disjoncteur doté de son propre contrôleur (essai de combinaison). Dans les deux cas, la procédure d'essai fondamentale est identique, comme détaillé dans le paragraphe 6.101.2.9.1.

6.101.2.9.1 Procédure d'essai

Il est recommandé que l'impact des variations de la densité de gaz sur le temps de fonctionnement d'un disjoncteur soit évalué dans des conditions stables pour toutes les autres variables d'influence.

Il est recommandé que l'essai soit réalisé en utilisant le gaz approprié comme pour le service et de prêter une attention à la stabilisation thermique du gaz suite à chaque remplissage avant de procéder aux essais suivants.

Il convient de réaliser 30 manœuvres mécaniques à vide (ouvertures et fermetures) à au moins trois valeurs de densité de gaz, régulièrement espacées, comprenant les valeurs minimales et assignées. Il convient que la tension de commande et l'énergie accumulée (le cas échéant) soient à leur valeur assignée.

6.101.2.9.2 Résultats des essais

Il est recommandé que les temps de fonctionnement maximal, minimal et moyen mesurés dans chaque condition d'essai et les écarts types associés soient classés et fassent l'objet d'un rapport. Dans le cas d'essais de combinaison, il convient que l'erreur entre le temps de fonctionnement moyen déclaré prévu et celui mesuré dans chaque condition d'essai fasse également l'objet d'un rapport.

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

Le paragraphe 6.102 de la CEI 62271-100 est applicable avec les compléments suivants.

6.102.1 Similitude des éléments

Le paragraphe 6.102.4.2.1 de la CEI 62271-100 est applicable à l'exception du point (a).

6.102.2 Séquence d'essais T100a

Les paragraphes 6.102.10.1.2 et 6.102.10.2 de la CEI 62271-100 son applicables avec le complément suivant :

Il est recommandé d'effectuer une manœuvre d'établissement avec le facteur d'établissement de crête correspondant issu du Tableau 1.

Il est recommandé que l'asynchronisme voulu et l'application voulue soit utilisé afin de déterminer les conditions d'essai d'établissement en court-circuit et de coupure en court-circuit asymétrique (T100a).

Pour les essais en triphasé d'un disjoncteur tripolaire asynchrone destiné à fonctionner dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre, l'asymétrie du courant sera déterminée par l'intervalle entre les pôles lors de la fermeture (voir Tableau 1), la constante de temps en application, la(es) durée(s) de fonctionnement du disjoncteur durant les manœuvres d'ouverture fermeture (voir Note) et le temps de fonctionnement du relais. Une diminution de la durée réelle de fonctionnement du relais de protection peut survenir dans le cas des disjoncteurs mécaniquement décalés si bien qu'en cas d'un défaut triphasé préexistant, le déclenchement de la protection pour l'ouverture du premier pôle surviendra après un temps égal à celui du relais diminué de la dispersion totale entre les pôles à la fermeture. Il est recommandé que la valeur réduite de la durée de fonctionnement du relais de protection soit utilisée durant l'essai de ce type de disjoncteur.

Pour les essais en triphasé d'un disjoncteur tripolaire asynchrone destiné à fonctionner dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre, l'asymétrie du courant sera déterminée par la constante de temps applicable, le(es) temps(s) de fonctionnement du disjoncteur durant les manœuvres d'ouverture fermeture (voir NOTE) et le temps de relais applicable. Une

diminution de la durée de fonctionnement de la protection efficace par le relais peut survenir dans le cas de disjoncteurs mécaniquement décalés si bien qu'en cas d'un défaut triphasé préexistant, le déclenchement de la protection pour l'ouverture du premier pôle survient au temps égal à la durée du relais applicable moins l'intervalle total entre les pôles à la fermeture. Il est recommandé que la valeur de la durée de protection par le relais soit utilisée durant l'essai de ce type de disjoncteur.

Pour les essais en monophasé d'un disjoncteur à un seul pôle ou à trois pôles non simultanés destiné à fonctionner dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre, l'asymétrie du courant sera déterminée par l'intervalle entre les pôles lors de la fermeture (voir Tableau 1), la constante de temps en application, le(es) temps de fonctionnement du disjoncteur durant les manœuvres d'ouverture fermeture (voir NOTE) et le temps de relais en application. Il convient qu'une durée de relais réduite soit considérée afin de prendre en compte la détection des défauts lors de la fermeture des deux premiers pôles à fermer lors de l'essai du dernier pôle simulé à fermer.

Pour les essais en monophasé d'un disjoncteur à un seul pôle ou à trois pôles non simultanés destiné à fonctionner dans des réseaux à neutre à la terre, l'asymétrie du courant sera déterminée par la constante de temps en application, le(es) temps de fonctionnement du disjoncteur durant les manœuvres d'ouverture fermeture (voir Note) et le retard en application. Il convient qu'une durée du relais réduite soit considérée afin de prendre en compte la détection des défauts lors de la fermeture du premier pôle à fermer lors de l'essai du dernier pôle simulé à fermer.

Les T100s(a) et T100a requises peuvent être effectuées sur des pôles différents.

Les Tableaux 5 à 12, applicables pour les essais en monophasé, présentent les valeurs requises pour la valeur crête de courant en court-circuit et la durée de boucle qu'il convient d'atteindre au niveau de la dernière boucle précédant l'interruption dans les cas où celles-ci diffèrent significativement de celles spécifiées dans la CEI 62271-100. Étant donné que les valeurs calculées pour l'asymétrie sont très similaires aussi bien pour les réseaux non effectivement reliés à la terre que ceux effectivement reliés à la terre, ces tableaux, dérivant du cas non effectivement relié à la terre, s'appliquent dans les deux cas.

Pour les réseaux à neutre effectivement à la terre ($k_{pp} = 1,3$) les valeurs pour l'établissement synchrone et décalé sont identiques et conformes à la CEI 62271-100. Cependant, comme mentionné dans 4.102, de tels réseaux peuvent produire une asymétrie complète dans les trois phases pour un délai de fermeture de 60° entre chaque phase. Dans ce cas, il est recommandé de définir la durée de coupure minimale de la manière suivante:

Temps de protection du relais + durée d'ouverture minimale durant une manœuvre d'ouverture fermeture (voir Note) + durée d'arc minimale (petite alternance) – 120°.

NOTE Les conceptions de certains disjoncteurs peuvent présenter une durée d'ouverture minimale plus importante pour une manœuvre CO que pour une simple manœuvre O. Pour de telles conceptions, il convient que la durée d'ouverture minimale pour une manœuvre CO soit utilisée lors de la détermination de la gamme des durées de minimales de coupure et des derniers paramètres d'alternance de courant associés. Il est recommandé que l'essai T100a soit effectué dans les pires conditions comme décrit par les paramètres d'essai CEI 62271-302 (en utilisant la durée d'ouverture minimale pour une manœuvre FO) ou les paramètres d'essai CEI 62271-100 (en utilisant le temps de fonctionnement minimal pour une seule manœuvre O).

Tableau 7 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 50 Hz, pôles décalés, $\tau = 75$ ms

$\tau = 75 \text{ ms}$	Grande alternance				Petite alternance			
Durée minimale de coupure ms	$\hat{f}$ p.u.	Δt_1 ms	Pourcentage de la composante aperiodique au zero de courant %	dI/dt correspondant au zero de courant (pourcentage rapport au dI/dt du courant symétrique assigné) %	$\hat{f}$ p.u.	Δt_2 ms	Pourcentage de la composante aperiodique au zero de courant %	dI/dt correspondant au zero de courant (pourcentage rapport au dI/dt du courant symétrique assigné) %
$10,0 < t \leq 21,5$ voir NOTE 3	-	-	-	-	-	-	-	-
$21,5 < t \leq 43,5$	1,71	15,0	64,3	79,3	0,19	4,0	78,7	58,4
$43,5 < t \leq 64,5$	1,54	13,5	49,7	88,9	0,38	5,5	59,6	77,8
$64,5 < t \leq 85,0$	1,42	13,0	38,5	93,9	0,52	7,0	45,5	87,1
$85,0 < t \leq 105,5$	1,32	12,0	29,7	96,7	0,63	7,5	34,9	92,2
$105,5 < t \leq 125,5$	1,25	11,5	22,5	98,4	0,72	8,0	26,6	95,3

$\hat{f}$: valeur unitaire (p.u.) du courant de crête par rapport à la valeur de crête du courant de court-circuit symétrique
 Δt_1 : durée de la grande alternance (arrondie à 0,5 ms)
 Δt_2 : durée de la petite alternance (arrondie à 0,5 ms)
: constante de temps du réseau

Toutes les valeurs de ce tableau ont été calculées avec une durée de la protection par relais de 10 ms.

NOTE 1 La constante de temps du réseau $\tau = 45 \text{ ms}$ est la valeur normalisée, $\tau = 60 \text{ ms}$, 75 ms et 120 ms sont des valeurs spéciales selon 4.101.2.

NOTE 2 Si la durée d'arc minimale obtenue au cours de l'essai est différente de la valeur spécifiée par le et si la durée réelle d'arc minimale conduit à une autre classe de durée minimale de coupure (coupure à une autre alternance de courant), il pourrait alors être nécessaire de répéter l'essai avec les valeurs d'alternance de courant appropriées. Si une répétition est nécessaire, la remise en état du disjoncteur conformément à 6.102.9.5 de la CEI 62271-100 ou l'utilisation d'un spécimen d'essai supplémentaire conformément à 6.102.2 de la CEI 62271-100 sont autorisées.

NOTE 3 Une interruption est impossible au sein de cette gamme de durée minimale de coupure étant donné que la petite alternance n'a pas zéro de courant.

Tableau 9 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 60 Hz, pôles décalés, $\tau = 45$ ms

$\tau = 45 \text{ ms}$		Grande alternance				Petite alternance			
Durée minimale de coupure	$\hat{f}$	Δt_1	Pourcentage de la composante aperiodique au zero de courant	dI/dt correspondant au zero de courant (pourcentage par rapport au dI/dt du courant symétrique assigné)	$\hat{f}$	Δt_2	Pourcentage de la composante aperiodique au zero de courant	dI/dt correspondant au zero de courant (pourcentage par rapport au dI/dt du courant symétrique assigné)	
	p.u.	ms	%	%	p.u.	ms	%	%	
ms	$8,5 < t \leq 19,0$	1,79	13,5	68,9	76,5	0,05	1,5	92,9	31,5
	$19,0 < t \leq 37,0$	1,54	11,5	47,9	90,6	0,35	4,5	62,1	74,7
	$37,0 < t \leq 54,5$	1,37	10,5	33,3	96,3	0,55	6,0	42,0	88,3
	$54,5 < t \leq 71,5$	1,26	9,5	23,3	98,6	0,69	6,5	28,7	94,1
	$71,5 < t \leq 88,0$	a	a	a	a	a	a	a	a
$88,0 < t \leq 105,0$	a	a	a	a	a	a	a	a	

$\hat{f}$: valeur unitaire (p.u.) du courant de crête par rapport à la valeur de crête du courant de court-circuit symétrique

Δt_1 : durée de la grande alternance (arrondie à 0,5 ms)

: durée de la petite alternance (arrondie à 0,5 ms)

τ : constante de temps du réseau

Toutes les valeurs de ce tableau ont été calculées avec une durée de la protection par relais de 8,3 ms.

NOTE 1 La constante de temps du réseau $\tau = 45 \text{ ms}$ est la valeur normalisée, $\tau = 60 \text{ ms}$, 75 ms et 120 ms sont des valeurs spéciales selon 4.101.2.

NOTE 2 Si la durée d'arc minimale obtenue au cours de l'essai est différente de la valeur spécifiée par le fabricant et si la durée réelle d'arc minimale conduit à une autre classe de durée minimale de coupure (coupe à une autre alternance de courant), il pourrait alors être nécessaire de répéter l'essai avec les valeurs d'alternance de courant appropriées. Si une répétition est nécessaire, la remise en état du disjoncteur conformément à 6.102.9.5 de la CEI 62271-100 ou l'utilisation d'un spécimen d'essai supplémentaire conformément à 6.102.2 de la CEI 62271-100 sont autorisées.

^a La séquence d'essais T100a n'est pas applicable, composante aperiodique inférieure à 20 % pour les deux alternances de courant.

Tableau 11 – Paramètres de la dernière alternance de courant applicables lors d'une séquence d'essais de court-circuit T100a à 60 Hz, pôles décalés, $\tau = 75$ ms

$\tau = 75 \text{ ms}$		Grande alternance				Petite alternance			
Durée minimale de coupure	$\hat{i}$	Δt_1	Pourcentage de la composante aperiodique au zéro de courant %	$d\hat{i}/dt$ correspondant au zéro de courant (pourcentage par rapport au $d\hat{i}/dt$ du courant symétrique assigné) %	$\hat{i}$	Δt_2	Pourcentage de la composante aperiodique au zéro de courant %	$d\hat{i}/dt$ correspondant au zéro de courant (pourcentage par rapport au $d\hat{i}/dt$ du courant symétrique assigné) %	
	p.u.	ms			p.u.	ms			
ms									
$8,5 < t \leq 18,5$ voir NOTE 3	-	-	-	-	-	-	-	-	
$18,5 < t \leq 36,0$	1,79	13,5	72,7	71,2	0,12	2,5	86,7	46,8	
$36,0 < t \leq 53,5$	1,63	12,0	58,6	83,1	0,29	4,0	68,8	70,1	
$53,5 < t \leq 70,5$	1,51	11,0	47,3	89,8	0,43	5,0	54,8	81,7	
$70,5 < t \leq 87,5$	1,31	10,5	38,2	93,8	0,54	6,0	43,8	88,3	
$87,5 < t \leq 104,5$	1,33	10,0	30,8	96,2	0,63	6,5	35,1	92,4	
$104,5 < t \leq 121,5$	1,26	10,0	24,6	97,8	0,71	7,0	28,1	95,0	

$\hat{i}$: valeur unitaire (p.u.) du courant de crête par rapport à la valeur de crête du courant de court-circuit symétrique
 Δt_1 : durée de la grande alternance (arrondie à 0,5 ms)
 Δt_2 : durée de la petite alternance (arrondie à 0,5 ms)
 τ : constante de temps du réseau

Toutes les valeurs de ce tableau ont été calculées avec une durée de la protection par relais de 8,3 ms.

NOTE 1 La constante de temps du réseau $\tau = 45 \text{ ms}$ est la valeur normalisée, $\tau = 60 \text{ ms}$, 75 ms et 120 ms sont des valeurs spéciales selon 4.101.2.

NOTE 2 Si la durée d'arc minimale obtenue au cours de l'essai est différente de la valeur spécifiée par le fabricant et si la durée réelle d'arc minimale conduit à une autre classe de durée minimale de coupure (coupure à une autre alternance de courant), il pourrait alors être nécessaire de répéter l'essai avec les valeurs d'alternance de courant appropriées. Si une répétition est nécessaire, la remise en état du disjoncteur conformément à 6.102.9.5 de la CEI 62271-100 ou l'utilisation d'un spécimen d'essai supplémentaire conformément à 6.102.2 de la CEI 62271-100 sont autorisées.

NOTE 3 Une interruption est impossible au sein de cette gamme de durées de coupure minimales étant donné que la petite alternance n'a pas zéro de courant.

6.103 Circuits d'essais pour les essais d'établissement et de coupure en court-circuit

Le paragraphe 6.103 de la CEI 62271-100 est applicable.

6.104 Grandeurs pour les essais de court-circuit**6.104.1 Tension appliquée avant les essais d'établissement en court-circuit**

Le paragraphe 6.104.1 de la CEI 62271-100 est applicable.

6.104.2 Courant de fermeture en court-circuit

Le paragraphe 6.104.2 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant:

Il est recommandé que l'asynchronisme voulu pour la fermeture et l'application soient utilisés afin de déterminer les conditions d'essai d'établissement du court-circuit.

6.104.2.1 Essais en triphasé

Le paragraphe 6.104.2.2.1 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant:

Pour les disjoncteurs tripolaires destinés à la fermeture à tension zéro dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre, il convient de réaliser un seul essai d'établissement à faible tension appliquée afin de démontrer la capacité d'établissement et de verrouillage de la conception. Cet essai peut être omis si les performances d'établissement du court-circuit améliorées ont déjà été atteintes lors de la précédente série d'essais effectuée sur une conception équivalente, non décalée. Il convient que la valeur de crête du courant de fermeture apparaisse dans le Tableau 1.

6.104.2.2 Essais en monophasé

Le paragraphe 6.104.2.2.2 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant:

Pour les disjoncteurs à un seul pôle destinés à la fermeture à tension zéro pour des réseaux à neutre non effectivement à la terre, il convient de réaliser un seul essai d'établissement à faible tension appliquée afin de démontrer la capacité d'établissement et de verrouillage de la conception. Il convient que la valeur de crête du courant de fermeture apparaisse dans le Tableau 1. Cet essai peut être omis si les performances d'établissement du court-circuit améliorées ont déjà été atteintes lors de la précédente série d'essais effectuée pour un fonctionnement simultané.

6.105 Procédure d'essais en court-circuit

Le paragraphe 6.103 de la CEI 62271-100 est applicable.

6.106 Séquences d'essais de court-circuit fondamentales

Le paragraphe 6.103 de la CEI 62271-100 est applicable.

6.107 Essais au courant critique

Le paragraphe 6.103 de la CEI 62271-100 est applicable.

6.108 Essais de défaut monophasé ou de double défaut à la terre

Le paragraphe 6.103 de la CEI 62271-100 est applicable.

6.109 Essais de défaut proche en ligne

Le paragraphe 6.103 de la CEI 62271-100 est applicable.

6.110 Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases

Le paragraphe 6.103 de la CEI 62271-100 est applicable.

6.111 Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs

Le paragraphe 6.111 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant:

6.111.1 Tension d'essais

Le paragraphe 6.111.7 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant:

Il convient de faire attention afin d'appliquer la tension adéquate sur le pôle à l'essai en respectant la non simultanéité des pôles à l'ouverture défini par le fabricant.

Pour les essais directs en monophasé en laboratoire, il convient que la tension mesurée au niveau du disjoncteur immédiatement avant l'ouverture ne soit pas inférieure au produit de $U_r/\sqrt{3}$ par le facteur de tension capacitif k_c suivant:

1,5 pour les essais correspondant à:

- coupure dans des conditions de service normales dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre avec un asynchronisme à la séparation des contacts à l'ouverture dans les différents pôles dépassant un sixième du cycle de la fréquence assignée.
- coupure de batteries de condensateurs avec des réseaux à neutre non effectivement à la terre avec un asynchronisme à la séparation des contacts à l'ouverture dans les différents pôles dépassant un sixième du cycle de la fréquence assignée.

Pour les essais sur éléments séparés, il convient de choisir la tension d'essai de façon à correspondre à l'élément le plus contraint du pôle de disjoncteur.

Il convient que la tension d'essai à fréquence industrielle et la tension continue résultant de la charge résiduelle dans le circuit capacitif soient maintenues pendant une durée d'au moins 0,3 s après la coupure.

Pour les disjoncteurs mécaniquement décalés, il convient que l'asynchronisme résultant à l'ouverture défini par le fabricant soit utilisé pour déterminer le coefficient de multiplication de la tension pour les essais de commutation de courant capacitif à une seule phase.

6.111.2 Séquences d'essais

Le paragraphe 6.111.9 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant:

Il est reconnu que les disjoncteurs destinés à être utilisés pour la fermeture contrôlée (tension zéro) de charges capacitives ne seront exposés à des conditions de décharge significative de batteries de condensateurs qu'en cas de défaillance du dispositif. C'est pourquoi un nombre limité de manœuvres d'établissement des batteries de condensateurs est spécifié contrairement à dans la CEI 62271-100. Plus précisément, il convient qu'au moins 10 % des manœuvres d'établissement des batteries de condensateurs spécifiées dans la CEI 62271-100 soient effectuées à moins de 15° de la valeur crête de la tension appliquée (sur une phase pour les essais en triphasé). Le cas échéant, il convient que le courant de fermeture soit au moins égal au courant assigné de fermeture des batteries de condensateurs en gradins.

Comme alternative, tous les séquences d'essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs pour la classe considérée peuvent être faites avec l'aide du contrôleur. Dans ce cas des essais additionnels doivent être faits pour couvrir l'exigence de 10 % et démontrer la capacité du disjoncteur à supporter un défaut occasionnel de ciblage.

Il est important de noter qu'il convient que les disjoncteurs testés avec un nombre limité de manœuvres d'établissement défini ici ne soient pas utilisés pour l'excitation des batteries de condensateurs sans l'aide d'un contrôleur approprié. Dans ce cas il convient que la classe considérée d'établissement et de coupure de courants capacitifs (C1/C2) soit indiquée sur la plaque signalétique du disjoncteur avec la mention supplémentaire "avec assistance du contrôleur pour l'établissement et la coupure" ou équivalent. Si la manœuvre non contrôlée répétée est requise, par exemple pour pourvoir à la défaillance ou à la suppression du contrôleur, il convient d'appliquer la série complète d'essais de la CEI 62271-100.

Pour une ouverture contrôlée des charges capacitives avec les réglages afin de minimiser la probabilité de réamorçage, il convient de satisfaire les exigences de la CEI 62271-100 à l'exception de la durée d'arc voulue qui sera celle définie par le fabricant. Cependant, il est recommandé qu'au moins 10 % des manœuvres d'essai requises ou cycles de fonctionnement soient réalisés à durée d'arc minimale et dans les conditions assignées du disjoncteur.

La séquence des manœuvres d'essai est facultative.

NOTE Réaliser 10 % des manœuvres dans des conditions de commutation contrôlée non optimales n'implique pas de défaillance du contrôleur pour 10 % des manœuvres. Ces manœuvres visent à démontrer qu'un faible nombre d'erreurs de ciblage tout au long de la durée de vie de fonctionnement du disjoncteur n'altère pas ses performances de base.

6.112 Exigences spéciales pour les essais de coupure et de fermeture des disjoncteurs de classe E2

Subclause 6.110 of IEC 62271-100 is applicable.

6.113 Détermination de la vitesse de rupture de la rigidité diélectrique

6.113.1 Applicabilité

Les essais de mesurage de RDDS sont applicables lorsque le disjoncteur est destiné à la fermeture contrôlée à cible prédéterminée. Les applications typiques sont l'excitation des batteries de condensateurs, des réactances shunt, des lignes et des transformateurs.

6.113.2 Exigences générales

Cet essai peut être effectué à 50 Hz ou 60 Hz selon les tolérances normales détaillées dans la CEI 62271-100.

NOTE Il est reconnu que la fréquence à laquelle l'essai est effectué peut affecter les résultats et, en particulier, que les procédures d'essai basées sur l'utilisation de la tension continue ne corréleront pas exactement avec les résultats des essais en courant alternatif. Bien qu'il faille prêter une attention particulière lors de l'utilisation des essais à une fréquence pour l'application à une autre fréquence, il est reconnu que les différences entre les résultats obtenus en 50 Hz et 60 Hz sont suffisamment faibles pour ne pas avoir de conséquence sur la pratique.

Il convient que la tension d'essai ne soit pas inférieure à la tension phase-terre assignée pour les disjoncteurs prévus pour des applications dans des réseaux à neutre effectivement à la terre et soit égale à au moins 1,5 fois la tension assignée pour les disjoncteurs prévus pour des applications dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre. Pour certaines applications, des tensions d'essai plus élevées peuvent être requises, par exemple 2,0 pour les applications de refermeture de ligne.

Il convient que le courant d'essai ne dépasse pas la valeur préférentielle du courant capacitif assigné et une valeur supérieure à 10 A est privilégiée.

Il convient que la tension d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture soit leur valeur assignée.

Il convient que les essais de mesurage de RDDS soient effectués avec un disjoncteur neuf, dans des conditions de fonctionnement assignées et respectant le préconditionnement du disjoncteur ainsi que des conditions d'enfermement extérieur. Si possible, il convient que le montage d'essais soit tel qu'aucune intervention sur le disjoncteur au cours des essais en série ne soit nécessaire. Si cela se révèle impossible, il convient que les interventions soient minimisées. Si les règles de sécurité locales requièrent une dépressurisation avant l'accès à proximité du disjoncteur, il est possible de diminuer la pression à condition que le même gaz soit réutilisé lors du remplissage du disjoncteur à condition que le plus possible, et pas moins de 90 %, du même gaz soit réutilisé pendant le remplissage du disjoncteur.

Des pôles séparés peuvent être utilisés pour les nouvelles séries d'essai et les séries d'essai de RDDS préconditionnées.

Les essais de préconditionnement consistent à:

- même courant que la séquence d'essais T60;
- essais à basse tension sans application de la TTR spécifiée;
- trois manœuvres d'ouverture avec les durées d'arc identiques à celles pour T60;
- essais dans des conditions de manœuvres assignées ou minimales.

6.113.3 Mesurages

Il convient d'enregistrer les paramètres suivants durant les essais de RDDS.

- instant d'entrée en contact;
- instant de préamorçage
- tension de préamorçage.

L'instant d'entrée en contact lors de chaque essai dépend des mesurages des manœuvres de fermeture à vide précédant les essais de mesurage de RDDS et de la courbe de déplacement obtenue durant chacun des essais.

6.113.4 Procédure d'essai privilégiée

Il est recommandé que les essais de mesurage de RDDS consistent en une série de manœuvres "autour du cadran" pouvant être effectuée conformément à la procédure décrite ci-dessous:

- a) réalisation de quatre manœuvres d'établissement à la valeur de crête de la tension;
- b) retard de l'onde de choc de fermeture de 15° et réalisation de quatre nouvelles manœuvres d'établissement;
- c) répétition de l'étape b) vingt-deux fois afin que le cycle entier des tensions (360°) soit testé;
- d) répétition de l'étape a) afin de confirmer que les caractéristiques du disjoncteur demeurent les mêmes que dans les conditions initiales.

6.113.5 Procédure d'essai alternative

La procédure d'essai suivante peut s'appliquer lorsqu'aucun moyen de commutation contrôlée n'est disponible dans le laboratoire; par exemple si les essais de RDDS sont effectués dans un laboratoire de haute tension. Il est probable que cette procédure d'essai nécessite bien plus que le nombre minimal de manœuvres d'essai (108) en raison de son caractère aléatoire.

Il convient que chaque demi-cycle de tension (alternance de tension) soit divisé en six créneaux égaux de 30°. Il convient que les manœuvres d'établissement aléatoires soient effectuées jusqu'à obtenir au minimum neuf préamorçages dans chacun des créneaux.

6.114 Détermination de la vitesse d'augmentation de la rigidité diélectrique (RRDS)

Il convient de déterminer les caractéristiques RRDS d'un disjoncteur séparément pour chacun des courants de charge, comme spécifié par la CEI 62271-110 [4]. Cette détermination peut être faite comme partie intégrante des essais selon la CEI 62271-110.

Pour les applications avec ouverture contrôlée de réactances shunt dont les valeurs des courants et/ou des tensions assignés ne concordent pas avec celles présentées dans les Tableaux 3 et 4 de la CEI 62271-110, il est recommandé d'effectuer un essai de commutation séparé pour chacune des réactances shunt avec les courants et/ou tensions spécifiques à l'application.

Il convient de suivre la procédure d'essai de la CEI 62271-110.

Pour un courant coupé supérieur à celui présenté dans les Tableaux 3 et 4 de la CEI 62271-110, le RRDS peut être affecté de telle sorte que la durée minimale d'arc permettant d'éviter le rallumage libre soit plus longue.

Réciproquement, un courant coupé inférieur à celui présenté dans les Tableaux 3 et 4 de la CEI 62271-110 peut provoquer des surtensions de découpage conduisant à une valeur de crête de TTR dépassant celle présentée dans le Tableau 2 de la CEI 62271-110.

Il convient ensuite de juger de la pertinence de l'utilisation de l'ouverture contrôlée pour une application particulière de la même manière que pour les cas normalisés en comparant le créneau sans rallumage par rapport à l'intervalle mécanique prévu.

6.115 Essai de fermeture contrôlée

6.115.1 Applicabilité

Un essai de fermeture contrôlée est obligatoire pour tous les disjoncteurs destinés à la fermeture contrôlée. Les applications typiques sont l'excitation des batteries de condensateurs, des transformateurs et des réactances.

6.115.2 Exigences générales

Cette procédure d'essai vise à démontrer la capacité du disjoncteur à toujours initialiser le courant au sein de sa fenêtre d'établissement assignée. Indépendamment de l'application, la réalisation des essais à l'aide d'une cible de tension zéro est suffisante afin de démontrer la capacité du disjoncteur pour tous les moments cibles. La réalisation des essais à d'autres moments cibles peut faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur compte tenu de l'application spécifique.

Les valeurs privilégiées de la fenêtre d'établissement assignée apparaissent en 4.101.

La réalisation des essais conformément à cet article peut être conforme au Tableau 2 ou Tableau 3 du présent rapport technique. La réalisation des essais conformément au Tableau 2, en faisant appel au contrôleur de laboratoire, démontre les meilleures performances potentielles pouvant être attendues du disjoncteur dans un réseau de commutation contrôlée "idéal".

La réalisation des essais conformément au Tableau 3, à l'aide de l'équipement de commutation contrôlée associé au disjoncteur démontre les performances réelles pouvant être attendues du réseau de commutation contrôlée.

Il convient que les caractéristiques du circuit de commande déclenché par le laboratoire (comprenant l'équipement de synchronisation du laboratoire) soient suffisamment précises afin de ne pas affecter significativement les résultats des essais.

6.115.3 Détermination du moment cible optimal

Il convient que le fabricant mentionne le moment cible optimal pour les essais de commutation contrôlée. Avant de commencer les essais de fermeture contrôlée, il convient qu'aucune manœuvre à vide (O et C) ne soit effectuée et que les détails des caractéristiques de fonctionnement du disjoncteur soient enregistrés.

6.115.4 Caractéristiques du circuit d'alimentation à fréquence industrielle

Il convient que la tension d'essai ne soit pas inférieure à la tension phase-terre assignée pour les disjoncteurs prévus pour des applications dans des réseaux à neutre effectivement à la terre et soit égale à au moins 1,5 fois la tension assignée pour les disjoncteurs prévus pour des applications dans des réseaux à neutre non effectivement à la terre. Pour certaines applications, des tensions d'essai plus élevées peuvent être requises, par exemple 2,0 pour les applications de refermeture de ligne. Pour les essais sur éléments séparés, il convient de choisir la tension d'essai de façon à correspondre à l'élément le plus contraint du pôle de disjoncteur.

Il convient que le circuit d'essai remplisse les critères suivants:

- a) il convient que la variation de la tension de fréquence industrielle de la source ne dépasse pas 2 %;
- b) il convient que le courant d'essai ne dépasse pas la valeur préférentielle du courant capacitif assigné et une valeur supérieure à 10 A est privilégiée.

6.115.5 Procédure d'essai

L'essai de fermeture contrôlée consiste en une série de manœuvres d'établissement dans des conditions de fonctionnement assignées avec le disjoncteur en état neuf et en une série de manœuvres d'établissement sur un disjoncteur préconditionné dans des conditions de d'enfermement extérieur.

Il convient de réaliser des essais à la polarité de tension fournissant le RDDS le plus faible (voir 6.113). Si cette information n'est pas disponible, il convient de répéter l'essai de fermeture contrôlée à chaque polarité.

NOTE La réalisation des essais avec la valeur maximale de RDDS est autorisée lorsque la polarité à la fermeture peut être choisie.

Les exigences relatives au préconditionnement sont identiques à celles stipulées dans 6.113.2. En tant que possible, il convient que le montage d'essais soit tel qu'aucune intervention sur le disjoncteur au cours des essais en série ne soit nécessaire. Si cela se révèle impossible, il convient que les interventions soient minimisées. Si les règles de sécurité locales requièrent une dépressurisation avant l'accès à proximité du disjoncteur, il est possible de diminuer la pression à condition que le même gaz soit réutilisé lors du remplissage du disjoncteur.

Des pôles séparés peuvent être utilisés pour les nouvelles séries d'essai et les séries d'essai préconditionnées.

Le disjoncteur doit réussir les essais décrits dans 6.115.5.1 et 6.115.5.2.

6.115.5.1 Procédure d'essai pour les disjoncteurs neufs

Il convient de réaliser 20 manœuvres d'établissement dans le but d'atteindre la fermeture au moment cible optimal.

Le disjoncteur réussit l'essai si les 20 manœuvres aboutissent à l'établissement du courant au sein de la fenêtre d'établissement assignée du disjoncteur. Si le résultat d'une seule manœuvre d'établissement au sein de la séquence des 20 tombe en dehors de la fenêtre d'établissement, il convient d'effectuer 20 nouvelles manœuvres d'établissement. Le disjoncteur réussit l'essai à condition que le courant soit établi au sein du courant d'établissement assigné dans au moins 19 des 20 manœuvres de la seconde série.

6.115.5.2 Procédure d'essai pour le disjoncteur préconditionné

Il convient de réaliser 20 manœuvres d'établissement dans le but d'atteindre la fermeture au moment cible optimal.

Le disjoncteur réussit l'essai si au moins 18 manœuvres sur les 20 effectuées aboutissent à l'établissement du courant au sein de la fenêtre d'établissement assignée du disjoncteur. Si le résultat de trois manœuvres d'établissement au sein de la séquence des 20 tombe en dehors de la fenêtre d'établissement assignée, il convient d'effectuer 20 nouvelles manœuvres d'établissement. Le disjoncteur réussit l'essai à condition que le courant soit établi au sein de la fenêtre d'établissement assignée dans au moins 18 des 20 manœuvres de la seconde série.

7 Essais individuels

L'Article 7 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant:

Il convient de prêter une attention particulière aux transducteurs ou interrupteurs auxiliaires requis pour les applications de commutation contrôlée. Il convient de vérifier leur précision et de l'enregistrer. Celle-ci doit être comprise au sein des tolérances acceptables comme spécifié par le fabricant.

8 Lignes directrices pour le choix des disjoncteurs selon le service

L'Article 8 de la CEI 62271-100 est applicable.

9 Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes

L'Article 9 de la CEI 62271-100 est applicable.

10 Règles pour le transport, le stockage, l'installation, la manœuvre et la maintenance

L'Article 10 de la CEI 62271-100 est applicable avec le complément suivant:.

10.101 Mise en service des disjoncteurs pour la commutation contrôlée

La réalisation des essais sur site est une étape primordiale afin d'assurer le bon fonctionnement des installations à commutation contrôlée. Elle se révèle particulièrement importante afin de garantir des réglages précis pour l'application en question. Il convient d'effectuer des mesurages suffisants durant la réalisation des essais sur site afin de garantir la précision de la commutation contrôlée. Il est recommandé que toutes les tensions et courants principaux disponibles soient enregistrés en plus des données fournies par le contrôleur.

Il est recommandé de réaliser certaines manœuvres de commutation contrôlée avec une charge isolée avant excitation du circuit principal. Il convient d'utiliser ces manœuvres afin de

vérifier que le disjoncteur s'ouvre et se ferme aux moments cibles d'ouverture et de fermeture prévus.

Il convient de réaliser un essai complet, en fonctionnement, du réseau de commutation contrôlée dans son ensemble, lorsque les essais effectués à vide ne sont pas concluants. Si le contrôle adaptatif n'est pas employé, il convient que les résultats de ces essais soient utilisés afin d'identifier toute modification des paramètres nécessaire afin d'atteindre la précision voulue.

Dans le cas d'un disjoncteur alimenté par son propre contrôleur, il convient que le fabricant fournisse un programme d'instructions relatif à la mise en service afin de démontrer la fonctionnalité dans son ensemble.

10.102 Maintenance de la précision de commutation contrôlée

Il convient que le concepteur du réseau de commutation contrôlée fournisse des recommandations relatives aux exigences minimales de maintenance afin de garantir que la précision spécifiée soit conservée tout au long de la vie de l'installation.

11 Sécurité

L'Article 11 de la CEI 62271-100 est applicable.

12 Influence du produit sur l'environnement

L'Article 9 de la CEI 62271-100 est applicable.

Annexe A (informative)

Lignes directrices relatives à la différence temporelle maximale entre les instants d'entrée en contact/ de séparation des contacts des éléments de coupure du même pôle pour les disjoncteurs destinés à la commutation contrôlée

A.1 Généralités

Un intervalle entre les éléments égal à 1/6 d'un cycle à l'ouverture est défini comme acceptable par la CEI 62271-100 pour les applications générales des disjoncteurs qui ne sont pas spécifiquement destinés à la commutation contrôlée. La CEI 62271-100 ne définit aucune exigence relative à l'intervalle entre les éléments à la fermeture.

Afin de garantir les performances prévues à la commutation contrôlée, il est essentiel que les éléments de coupure du même pôle, branchés en série, agissent de manière mécanique synchrone et avec les mêmes caractéristiques diélectriques dynamiques. L'asynchronisme mécanique peut être pris en compte lors du réglage des cibles mais il convient qu'il soit le plus faible possible pour un ciblage optimal.

A.2 Fermeture contrôlée

L'exemple suivant démontre l'impact de l'intervalle de temps entre les éléments dans le cas de la mise sous tension de batteries de condensateurs monophasées 50 Hz avec un disjoncteur comportant deux éléments.

Pour les besoins de l'exemple, les hypothèses suivantes sont émises:

- le RDDS total ($RDDS_{tot}$) pour les deux éléments, $RDDS_1$ et $RDDS_2$, lorsqu'ils fonctionnent de manière simultanées est égal à $(du/dt)_{max}$, survenant à tension zéro, de la tension appliquée;
- il n'existe aucune diffusion diélectrique dynamique;
- la distribution de la tension au sein des éléments est égale;
- la diffusion entre les éléments est fixe et ne présente pas de dispersion.

Sur la Figure A.1 est présenté le cas d'un disjoncteur présentant une dispersion mécanique de $\pm 1,0$ ms et aucun intervalle entre les éléments. En prenant en compte cette dispersion mécanique, $RDDS_{tot}$ est centré afin que les tensions de préamorçage à l'extrême inférieur (durée de fermeture minimale) et à l'extrême supérieur (durée de fermeture maximale) soient égales. Ceci résulte en un moment cible optimisé pour la fermeture, légèrement en retard par rapport à la tension zéro.

La situation équivalente pour un disjoncteur présentant un intervalle mécanique entre les éléments égal à 1/8 d'un cycle (2,5 ms à 50 Hz) à la fermeture apparaît en Figure A.2. La fermeture "prématurée" d'un élément conduit à la conversion de $RDDS_{tot}$ en une fonction non linéaire avec une modification de la valeur au moment où le premier interrupteur devient conducteur. L'effet de l'intervalle entre les éléments sur $RDDS_{tot}$ augmentera l'erreur cible qui sera elle-même dépendante de plusieurs conditions telles que la distribution de la tension dans les éléments, la relation entre RDDS et la tension appliquée, la linéarité de RDDS, la dispersion mécanique totale ainsi que la cible réelle voulue.

L'intervalle de temps peut conduire au besoin de temps de retard supplémentaires jusqu'au moment cible pour la fermeture. Afin de prendre en compte une dispersion mécanique de $\pm 1,0$

ms conjointement à un intervalle de 2,5 ms entre les éléments, le moment cible pour la fermeture du dernier élément à fermer nécessite d'être retardée de 2,25 ms à partir de la tension zéro. Ceci conduira encore à une tension de préamorçage maximale dépassant celle obtenue sans prendre en compte l'intervalle entre les éléments. En centrant la gamme cible afin que la courbe de tension de préamorçage soit égale à celle de la tension ascendante et descendante n'est plus possible.

Il s'agit d'un exemple simplifié mais, en réalité, la situation dépend de l'interaction entre le comportement électrique des éléments. C'est particulièrement le cas de la capacité, ou autrement dit, des derniers (les plus lents) éléments de coupure à maintenir la tension suite à la fermeture des éléments les plus rapides qui aura un impact sur la stratégie cible. Afin d'éviter de telles complexités, il convient que les disjoncteurs pour fermeture contrôlée soient spécifiés avec de faibles valeurs d'intervalle entre les éléments comme détaillé dans le présent rapport technique.

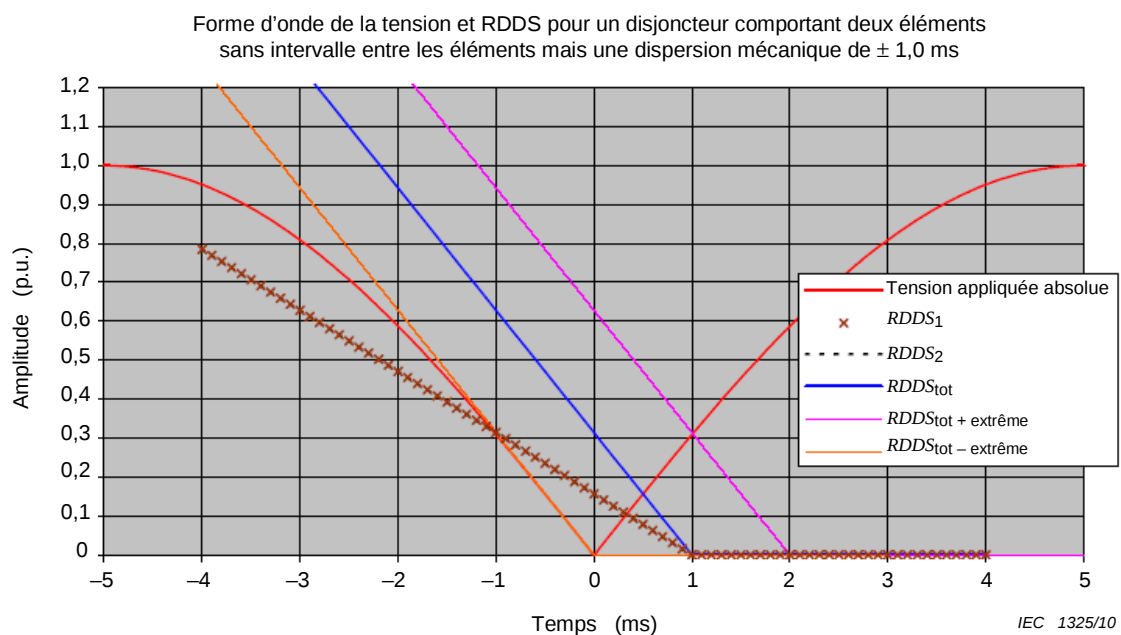


Figure A.1 – RDDS par rapport à la tension pour la fermeture sans intervalle entre les éléments et une dispersion mécanique de $\pm 1,0$ ms

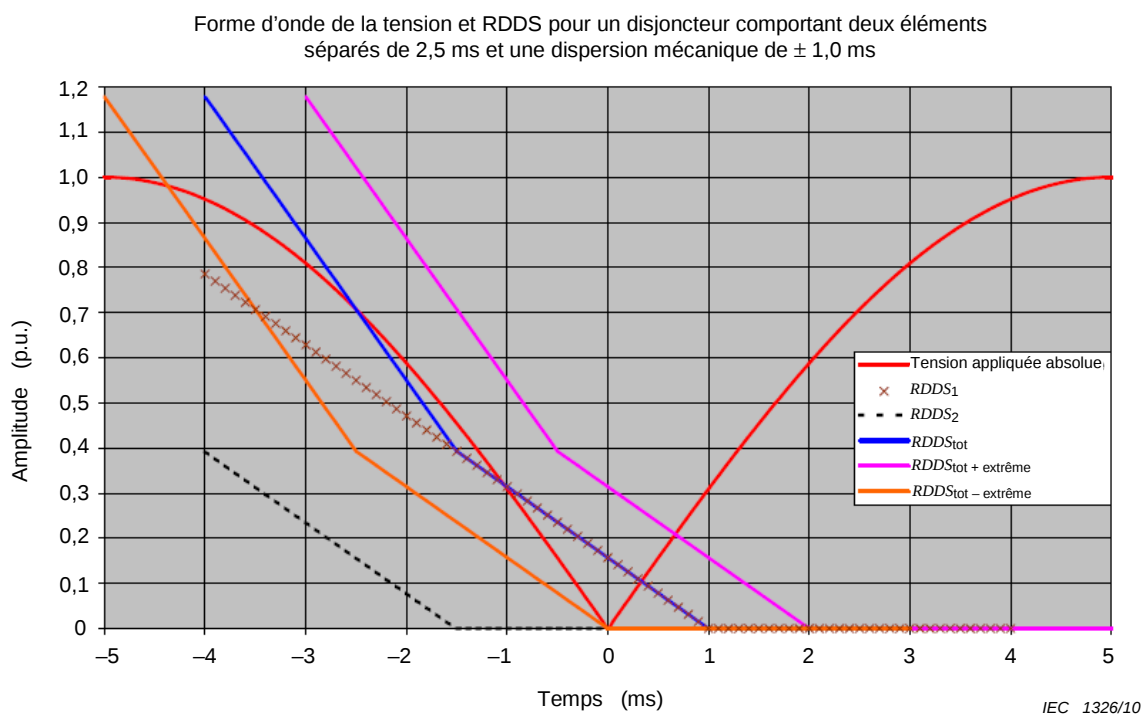


Figure A.2 – RDDS par rapport à la tension pour la fermeture avec intervalle entre les éléments égal à 1/8 de cycle et une dispersion mécanique de $\pm 1,0$ ms

A.3 Ouverture contrôlée

L'effet de l'intervalle entre les éléments à l'ouverture est illustré par l'exemple d'une désexcitation d'une réactance shunt contrôlée, 50 Hz, destinée à une interruption sans rallumage à l'aide d'un disjoncteur comportant deux éléments avec un intervalle maximal égal à 1/8 d'un cycle.

Pour les besoins de l'exemple, les hypothèses suivantes sont émises:

- le RDDS total ($RDDS_{tot}$) pour les deux éléments lorsqu'ils fonctionnent de manière synchrone conduit à une durée d'arc minimale, sans rallumage égale à un quart de cycle pour les caractéristiques de rétablissement de l'exemple;
- il n'existe aucun intervalle diélectrique dynamique;
- la distribution de la tension au sein des éléments est égale;
- l'intervalle entre les éléments est fixe et ne possède pas de dispersion;
- l'augmentation de la tension de rétablissement résultant de l'augmentation de la durée d'arc n'a pas été prise en compte.

Sur la Figure A.3 est présentée la situation d'un disjoncteur présentant une dispersion mécanique de $\pm 1,0$ ms mais aucun intervalle entre les éléments ($RDDS_1 = RDDS_2 = 0,5 \times RDDS_{tot}$). La cible pour la désexcitation est centrée afin que la durée d'arc minimale pour l'interruption sans rallumage corresponde à l'extrême supérieur de la gamme de dispersion mécanique (temps d'ouverture maximal).

Sur la Figure A.4 est présenté le même cas mais avec un intervalle entre les éléments égal à 2,5 ms. Comme dans le cas précédant traitant de la fermeture, l'intervalle entre les éléments conduit à la possibilité d'une caractéristique $RDDS_{tot}$ non linéaire. Afin d'atteindre des performances fiables sans rallumage, il est nécessaire de choisir un moment cible prématuré pour l'ouverture contrairement au cas sans intervalle entre les éléments. Dans cet exemple

particulier, une avance d'environ 1,3 ms est requise afin que le nouveau moment cible centré pour l'ouverture soit de 7,3 ms avant le zéro de courant.

En conclusion, il est clair que le moment cible pour l'ouverture nécessite d'être réglé en prenant en compte l'intervalle entre les éléments à l'ouverture. Le réglage nécessaire des pièces de contact en fonction de l'intervalle entre les éléments sera déterminé par la raideur de la pente de RRDS par rapport à la valeur de crête de la tension de rétablissement. L'erreur de ciblage sera déterminée par la distribution de la tension entre les éléments, l'intervalle mécanique du pôle prévu, l'intervalle entre les éléments prévu ainsi que la relation réelle entre la tension de rétablissement et RDDS.

Afin d'éviter de telles complexités, il convient que les disjoncteurs pour ouverture contrôlée soient spécifiés avec de faibles valeurs d'intervalle entre les éléments comme détaillé dans le présent rapport technique.

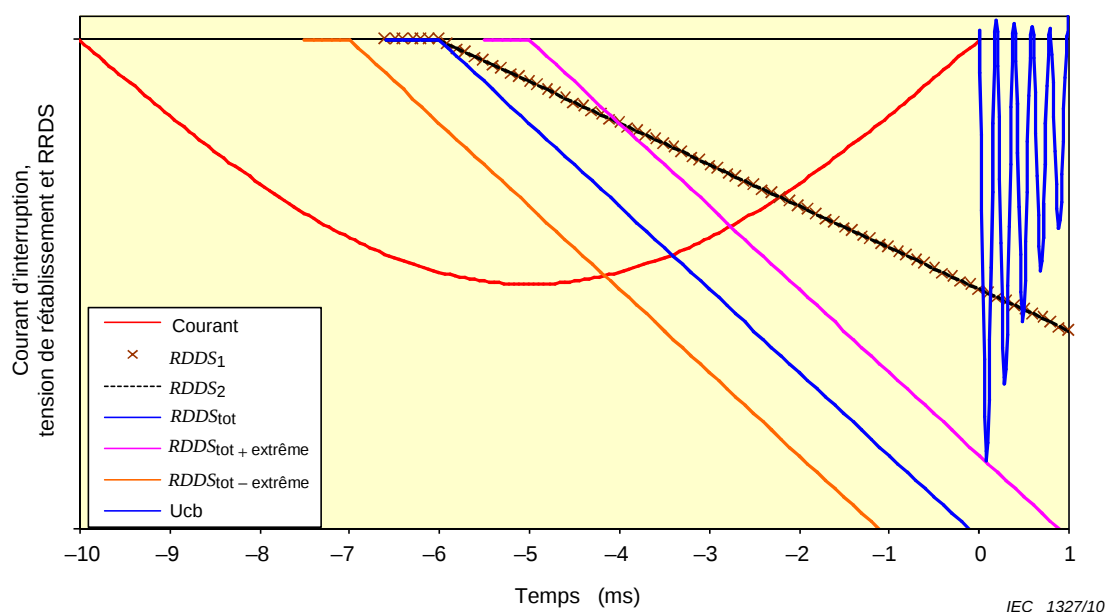


Figure A.3 – RRDS comparé à la tension de rétablissement sans intervalle entre les éléments et une dispersion mécanique de $\pm 1,0$ ms

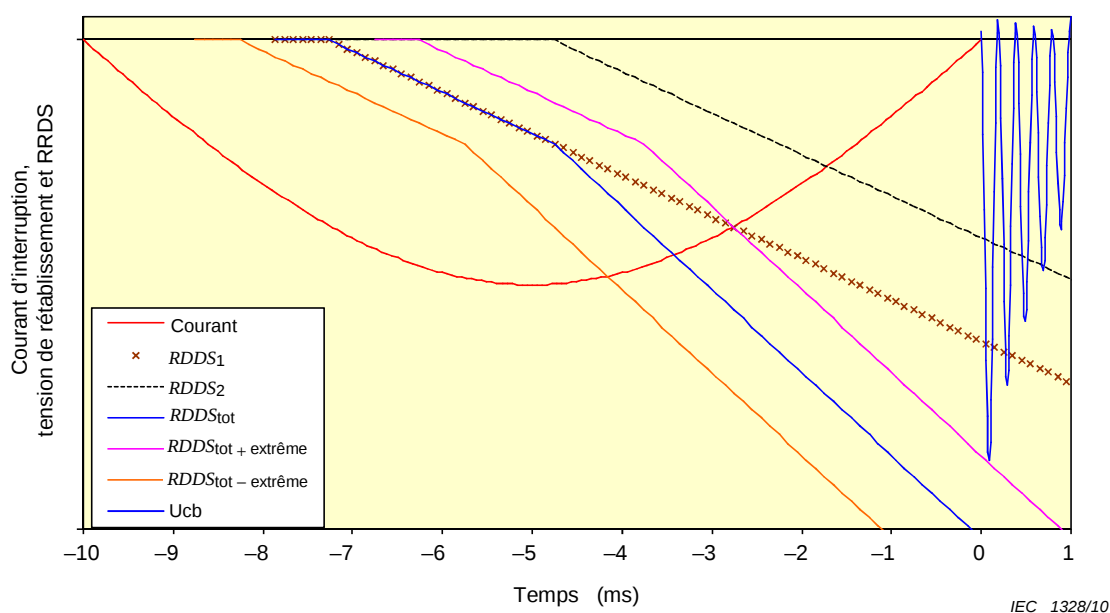


Figure A.4 – RRDS comparé à la tension de rétablissement avec un intervalle de 2,5 ms entre les éléments et une dispersion mécanique de $\pm 1,0$ ms

A.4 Mesurage et limites de l'intervalle entre les éléments

La durée de fermeture définie dans le paragraphe 3.7.136 de la CEI 62271-100 correspond au temps entre l'onde de choc et l'entrée en contact dans le pôle complet c'est-à-dire qu'il s'agit d'une mesure effectuée au niveau du dernier élément à fermer.

La durée d'ouverture définie dans le paragraphe 3.7.133 de la CEI 62271-100 correspond au temps entre l'onde de choc et la séparation des contacts dans le pôle complet c'est-à-dire qu'il s'agit d'une mesure effectuée au niveau du premier élément à ouvrir.

Ces définitions se révèlent relativement appropriées pour la plupart des cas et reconnaissent que, par exemple, dans le cas de disjoncteurs GIS (isolés dans le gaz) à multi-éléments, il est impossible de mesurer directement les caractéristiques de fonctionnement des éléments individuels.

Comme démontré ci-dessus, les présentes définitions des durées d'ouverture et de fermeture ne conviennent pas totalement à l'ensemble des applications de commutation contrôlée pour lesquelles l'intervalle entre les éléments c'est-à-dire le décalage entre la manœuvre du premier et du dernier élément pour fonctionner peut se révéler important. Si l'on ignore l'intervalle entre les éléments et que l'on ne prend en considération que la "durée de fermeture totale" ou la "durée d'ouverture totale" le ciblage obtenu peut ne pas être celui voulu. Le premier élément à fermer déterminera la première limite (inférieure) pour le préamorçage alors que le dernier élément à ouvrir déterminera la limite la plus basse admissible.

Compte tenu de cette information, il est recommandé que l'intervalle entre les éléments des disjoncteurs destinés à la commutation contrôlée soit bien contrôlé et mesuré durant les essais de temporisation et particulièrement avant la mise en service.

L'intervalle entre les éléments maximal acceptable dépendra de la raideur de la pente de RDDS et de RRDS combiné à l'intervalle mécanique prévu. Afin d'éviter les évaluations complexes, spécifiques à un usage, il est recommandé que les disjoncteurs pour la commutation contrôlée présente un intervalle minimal entre les éléments c'est-à-dire que les unités d'un pôle fonctionnent essentiellement de manière simultanée. Afin d'atteindre les performances de commutation contrôlée prévues, il convient que la différence maximale entre les instants d'entrée en contact/de séparation des contacts au sein des éléments dont les interrupteurs sont branchés en série ne dépasse pas un seizième (6,25 %) d'un cycle de la fréquence assignée.

Annexe B (informative)

Lignes directrices pour l'application des résultats obtenus lors des essais de définition des paramètres/essais de combinaison

B.1 Généralités

Les essais de définition des paramètres ainsi que les essais de combinaison fournissent des informations relatives à la précision possible des équipements à l'essai. Étant donné que les essais sont effectués individuellement pour chacun des paramètres considérés, l'identification des performances totales possibles du réseau requiert une analyse plus poussée des résultats des essais. La présente annexe fournit des lignes directrices afin de faciliter l'évaluation générale des performances à partir des données individuelles obtenues à partir des essais définis dans le présent rapport technique. Ces lignes directrices sont basées sur la variation des paramètres présentant une distribution normale ou de Gauss bien qu'une approche similaire puisse être appliquée aux autres distributions.

B.2 Isolation de la dispersion mécanique

L'Article 6.101.2.1 détermine la dispersion mécanique en fonction des temps de fonctionnement moyen, maximal et minimal ainsi que des écarts types associés. Les résultats des autres essais de définition des paramètres tels que l'influence de la tension de commande, les températures élevées etc., lorsqu'ils sont rapportés de la même manière, consistent en une combinaison des effets de dispersion et des effets des variations des paramètres fondamentaux. Ainsi, afin de calculer les performances globales et de garantir que les effets de la dispersion mécanique ne sont pas incorporés plus d'une fois, il est nécessaire d'éliminer la dispersion mécanique des résultats des essais individuels. Ceci peut s'effectuer de la manière suivante.

Considérer n paramètres indépendants, X_i , chacun pouvant être compensé par le contrôleur.

S_t est défini comme l'écart type observé dans un essai de combinaison où l'ensemble de ces paramètres n varient et ont des effets indépendamment les uns des autres. S_t^2 est la valeur de variance associée pouvant être ajoutée pour les distributions individuelles.

Si X_m désigne le paramètre de dispersion mécanique, l'équation suivante s'applique:

$$S_t^2 = S^2(X_1, \dots, X_n, X_m),$$

Tous les paramètres étant considérés comme indépendants,

$$S_t^2 = S^2(X_1) + \dots + S^2(X_n) + S^2(X_m)$$

En prenant en compte les procédures d'essai décrites dans le présent rapport technique, $S_{im}^2(X_i, X_m)$ peut être déterminé à partir de chaque définition de paramètres. $S^2(X_m)$ peut également être déterminé à partir de l'essai d'endurance mécanique.

En raison de l'indépendance des variables:

$$S_{im}^2(X_i, X_m) = S^2(X_i) + S^2(X_m)$$

Et donc,

$$S^2(X_i) = S^2_{im}(X_i, X_m) - S^2(X_m)$$

L'application de ce principe à S_t conduit à:

$$S_t^2 = \sum_{i=1}^{i=n} [S^2_{im}(X_i, X_m) - S^2(X_m)] + S^2(X_m)$$

La variance totale des essais de paramètres est donc exprimée par:

$$S_t^2 = \sum_{i=1}^{i=n} S^2_{im}(X_i, X_m) + (1-n) \times S^2(X_m) \quad (\text{B.1})$$

A partir de cette variance totale, il est possible de dériver la capacité du dispositif l'essai en fonction de sa fenêtre d'établissement assignée.

B.3 Essai de définition des paramètres (Tableau 2)

Dans ce cas, l'équipement à l'essai se limite au disjoncteur. Pour chacun des principaux essais de définition des paramètres, les valeurs testées peuvent être obtenues en fonction des temps de fonctionnement moyens, maximaux et minimaux ainsi que des écarts types associés. Les articles suivants établissent la procédure à appliquer afin d'utiliser ces informations pour identifier la fenêtre d'établissement assignée possible du disjoncteur. Ceci suppose que la compensation sera disponible afin de compenser les modifications systématiques de la valeur moyenne c'est-à-dire l'application de la "parfaite" compensation.

La dispersion mécanique des principaux contacts est dérivée à partir des essais réalisés conformément à 6.101.2.1. Une séquence d'essais minimale de 2×100 manœuvres de fermeture et 2×100 manœuvres d'ouverture est requise avec 100 manœuvres d'ouverture et 100 manœuvres de fermeture supplémentaires pour les mécanismes à fluide dont la pression d'entraînement varie. Chaque séquence de 100 manœuvres peut être définie par sa moyenne et son écart type. Étant donné que pour la définition des paramètres, il ne peut y avoir aucun moment cible de déclaré, seul l'écart type présente un intérêt. Il convient que l'écart type total pour toutes ces manœuvres de fermeture soit déterminé séparément de celui pour toutes les manœuvres d'ouverture. Ces valeurs sont $S(X_m)$ comme définies ci-dessus.

L'impact de la tension de commande est dérivé à partir de 6.101.2.4. Il convient que l'écart type total pour toutes ces manœuvres de fermeture soit déterminé séparément de celui pour toutes les manœuvres d'ouverture. Cette valeur est $S_{1m}(X_1, X_m)$.

Des valeurs équivalentes peuvent être dérivées pour les autres variables telles que:

- la température, $S(X_2)$;
- le niveau d'énergie accumulée, $S(X_3)$;
- le temps de pause, $S(X_4)$;
- la densité de gaz, $S(X_5)$.

En s'appuyant sur l'Équation B.1, il est alors possible de dériver l'écart type total S_t en prenant en compte les variations de tous les paramètres. En considérant une distribution normale, ± 3 écarts types sont assimilés à un niveau de confiance de 99,7 % et ± 2 écarts types sont assimilés à un niveau de confiance de 95 %.

B.4 Essai de combinaison (Tableau 3)

La procédure dans ce cas est similaire à celle établie dans l'article précédent.

Cependant, l'incorporation du contrôleur dans le réseau à l'essai permet de définir un temps de fonctionnement cible du réseau dans chaque condition d'essai et il convient que ces valeurs soient déclarées par le fournisseur au moment de la réalisation de l'essai. Lorsque c'est le cas, l'écart type de la valeur moyenne testée et la différence entre la valeur moyenne testée et la valeur déclarée présentent un intérêt.

Lorsqu'il n'existe aucune erreur significative entre les valeurs cibles déclarées et la valeur moyenne testée, la même procédure que celle décrite ci-dessus s'applique.

Des écarts significatifs entre la valeur cible déclarée et la valeur moyenne mesurée lors d'un essai suggèrent une compensation faible voire inadaptée pour le paramètre considéré. Dans de tels cas, des distributions de probabilités complexes (somme des distributions normales avec des valeurs moyennes qui diffèrent) peuvent survenir, et ne pas être facilement analysées. Dans le premier exemple, il est supposé que l'écart type total est dérivé de la même manière que pour le cas ci-dessus (B.3). Il convient d'ajouter une tolérance supplémentaire, égale à la différence totale entre les valeurs moyennes afin que le créneau cible possible soit ± 3 écarts types + la différence moyenne.

Annexe C (informative)

Essais des disjoncteurs à pôles intentionnellement non simultanés en prenant en compte les défaillances du contrôleur

En général, les exigences relatives aux essais pour les disjoncteurs destinés à la commutation contrôlée reposent sur le fonctionnement correct du contrôleur. Cependant, étant donné que les contrôleurs, comme tout appareillage, peuvent connaître une défaillance, il est nécessaire de tenir compte de si les défaillances occasionnelles du contrôleur peuvent survenir dans des conditions de fonctionnement dépassant la capacité démontrée du disjoncteur. Le Tableau C.1 récapitule les défaillances possibles du contrôleur et leurs implications sur les contraintes du disjoncteur. Le rapport technique vise à ce que, lorsque la défaillance du contrôleur peut conduire à une augmentation des contraintes du disjoncteur contrairement à un fonctionnement normal simultané des pôles, dans des conditions non contrôlées, des essais supplémentaires soient précisés afin que le disjoncteur ne risque pas de connaître de défaillance.

L'évaluation suivante prend en compte uniquement les contraintes du disjoncteur et n'aborde pas les implications possibles pour le réseau d'un dysfonctionnement du contrôleur ou la possibilité de défaut d'équipements connectés (par exemple, réactances shunt, bancs de condensateurs, etc).

**Tableau C.1 – Défaillances possibles du contrôleur
et leurs implications sur les contraintes du disjoncteur**

Type de défaillance	Type de manœuvre	Conséquence de la défaillance	Conclusion
Perte de la tension d'alimentation	Toutes	Pas de manœuvre ou fonctionnement non contrôlé asynchrone de tous les pôles.	Aucune exigence supplémentaire relative à l'essai
Perte de référence	Fermeture Fonctionnement tripolaire (mécaniquement décalés)	Pas de manœuvre ou fonctionnement sans commande en un point de l'onde. En cas de manœuvre, les pôles se fermeront de manière non simultanée avec le décalage intégré.	Cas le pire rencontré avec la fermeture à tension zéro et défaut préexistant à la terre.
	Ouverture Fonctionnement tripolaire (mécaniquement décalé)	Pas de manœuvre ou fonctionnement sans commande en un point de l'onde. En cas de manœuvre, les pôles s'ouvriront de manière non simultanée avec le décalage intégré.	Peut conduire à l'augmentation du facteur de tension en cas de désexcitation d'une batterie de condensateurs non effectivement reliée à la terre selon le déplacement entre les pôles et les durées d'arc. Facteur de 1,5 en 6.111.1. Rallumages dans presque tous les pôles en cas de désexcitation des réactances shunt. Aucune exigence supplémentaire.

Type de défaillance	Type de manœuvre	Conséquence de la défaillance	Conclusion
	Fermeture Fonctionnement à un seul pôle	Pas de manœuvre ou fonctionnement dans commande en un point de l'onde. En cas de manœuvre, il est considéré que les bobines de fermeture sont excitées de manière simultanée. La différence de temps entre la fermeture des pôles dépend des intervalles de temps intrinsèques à la fermeture entre les pôles.	Aucune exigence supplémentaire relative à l'essai.
	Ouverture Fonctionnement à un seul pôle	Aucune manœuvre ou fonctionnement sans commande en un point de l'onde. En cas de manœuvre, il est considéré que les bobines de fermeture sont excitées de manière simultanée. Les différences de temps entre l'ouverture des pôles dépendent des variations des durées d'ouverture entre les pôles.	Aucune exigence supplémentaire relative à l'essai. En cas de réactance shunt, la déénergisation du disjoncteur conduira probablement au rallumage d'au moins un pôle.
Perte des données relatives aux détecteurs de compensation	Fermeture Fonctionnement tripolaire ou à un seul pôle	Manœuvre bloquée ou fonctionnement sans correction pour les modifications des paramètres externes.	Aucune exigence supplémentaire relative à l'essai.
Perte des données de compensation	Ouverture Fonctionnement tripolaire ou à un seul pôle	Manœuvre bloquée ou fonctionnement sans correction de la modification de paramètre.	Aucune exigence supplémentaire relative à l'essai. Des rallumages peuvent survenir lors de la déénergisation de la réactance shunt.
Perte des données d'adaptation	Toutes	Manœuvre bloquée ou fonctionnement avec mauvaise correction de la précédente erreur de ciblage.	Aucune exigence supplémentaire relative à l'essai.
Réglages du contrôleur incorrects	Toutes	Erreur de ciblage pour le(s) pôles mal défini(s) sans détection de l'erreur par le contrôleur.	Il convient de détecter le problème et de le corriger lors de la mise en service. Aucune exigence supplémentaire relative à l'essai.
Dysfonctionnement des circuits internes	Toutes	Aucune manœuvre dans la plupart des cas.	Aucune exigence supplémentaire relative à l'essai.

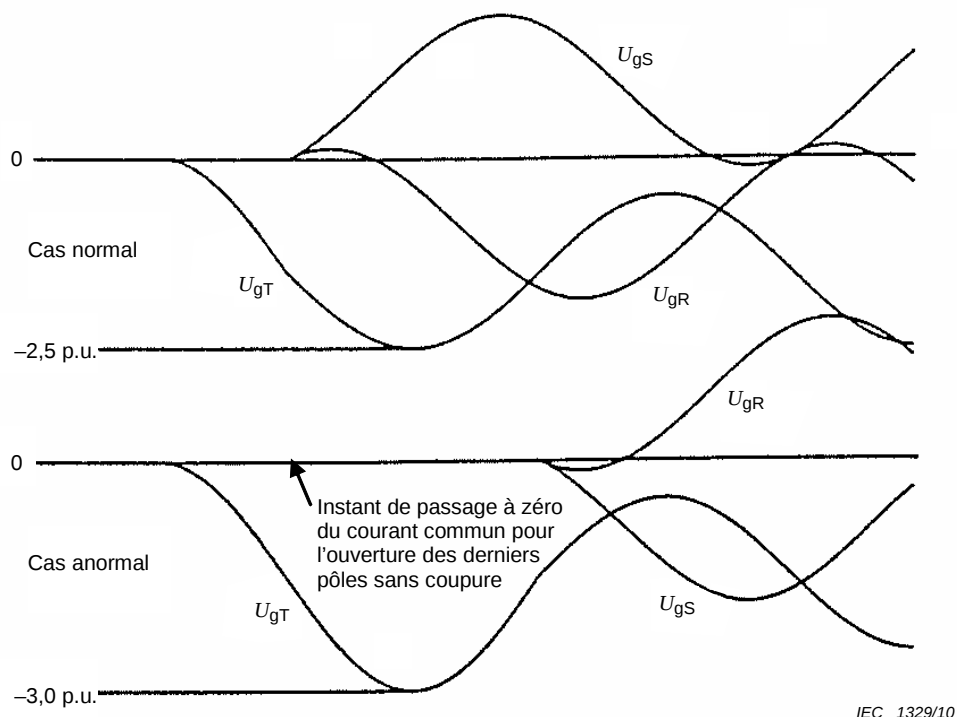
Comme récapitulé ci-dessus, la plupart des défaillances prévisibles du contrôleur ne conduisent pas à des contraintes dépassant celles couvertes par les essais types spécifiés dans la CEI 62271-100 et dans le présent rapport technique. La condition identifiée la plus critique consiste en la désexcitation d'une batterie de condensateurs shunt non effectivement reliée à la terre par un disjoncteur tripolaire mécaniquement décalé dans des conditions où il y a perte de la tension de référence.

Selon les caractéristiques de dispersion mécanique et les caractéristiques d'arc du disjoncteur, la séquence d'ouverture peut être telle que l'interruption ne survient pas à des zéros de courants consécutifs. Ceci peut conduire à l'augmentation de la tension de rétablissement pour le premier pôle à isoler survenant par exemple si le premier pôle d'ouverture s'ouvre environ 90° avant les deux autres (Figure C.1). Les courbes supérieures montrent le cas d'une situation normale avec interruption à zéro de courants consécutifs et

résultant en une valeur de crête de tension de rétablissement maximale de 2,5 valeurs unitaires dans le premier pôle.

Les courbes inférieures montrent le cas d'une situation où les derniers pôles à isoler ne sont pas interrompus (ou ne se sont pas encore ouverts) à leur premier zéro de courant commun. Cette situation conduit à une valeur de crête de tension de rétablissement maximale de 3,0 valeurs unitaires dans le premier pôle.

Ceci explique l'insertion du coefficient de multiplication de tension de 1,5 mentionné dans 6.111.1.



Légende

U_{gR} est la tension sur l'espace de contact du pôle R

U_{gS} est la tension sur l'espace de contact du pôle S

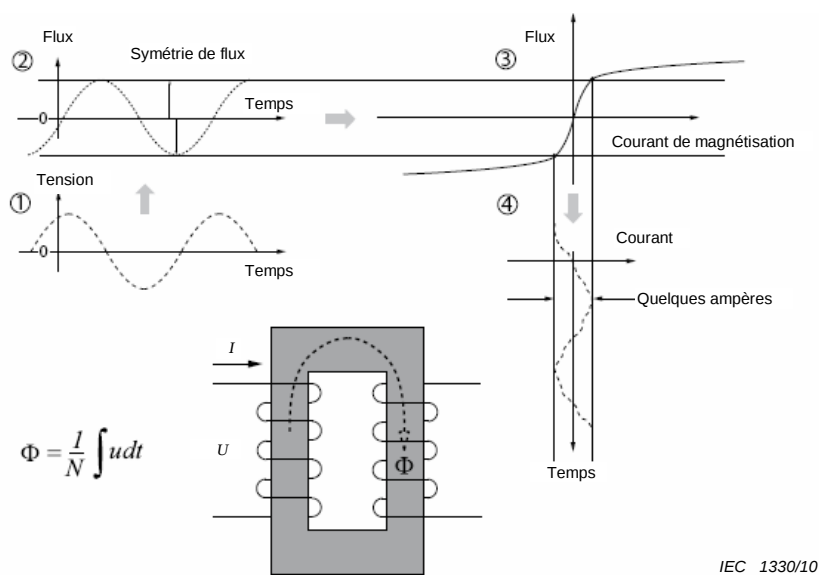
U_{gT} est la tension sur l'espace de contact du pôle T

Figure C.1 – Tensions de rétablissement dans deux situations différentes durant la désexcitation d'une batterie de condensateurs shunt non effectivement reliée à la terre

Annexe D (informative)

Exemple monophasé simplifié démontrant les relations entre tension d'enroulement, flux dans le noyau et courant de magnétisation pour un transformateur de puissance

Pour un transformateur excité à vide en état stationnaire, il est nécessaire que le flux dans le noyau soit symétrique. La symétrie du flux conduira à son tour à un courant de magnétisation symétrique, le plus faible possible. Les relations entre la tension, le flux et le courant apparaissent en Figure D.1.

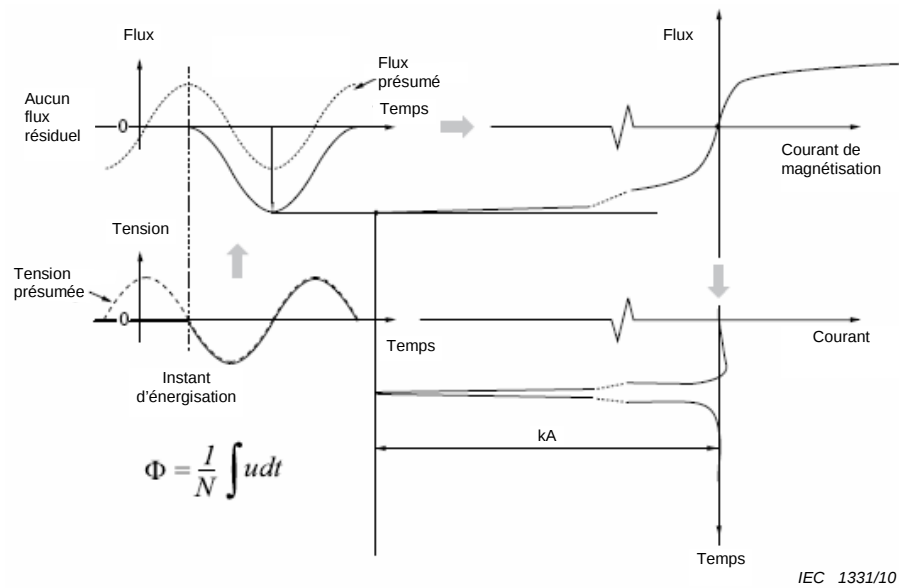


Légende

- 1) Tension constante appliquée à la bobine du transformateur
- 2) Flux constant généré par la tension appliquée
- 3) Flux symétrique constant déterminant les caractéristiques de magnétisation (simplifié sur la figure)
- 4) Courant de magnétisation constant obtenu déterminé par des caractéristiques de magnétisation

Figure D.1 – Relation entre la tension, le flux et le courant dans un transformateur en état stationnaire

Plusieurs asymétries de flux peuvent être introduites lors de l'excitation dans le cas d'un établissement à des instants inappropriés et en raison de l'inertie magnétique comme il apparaît dans la Figure D.2.



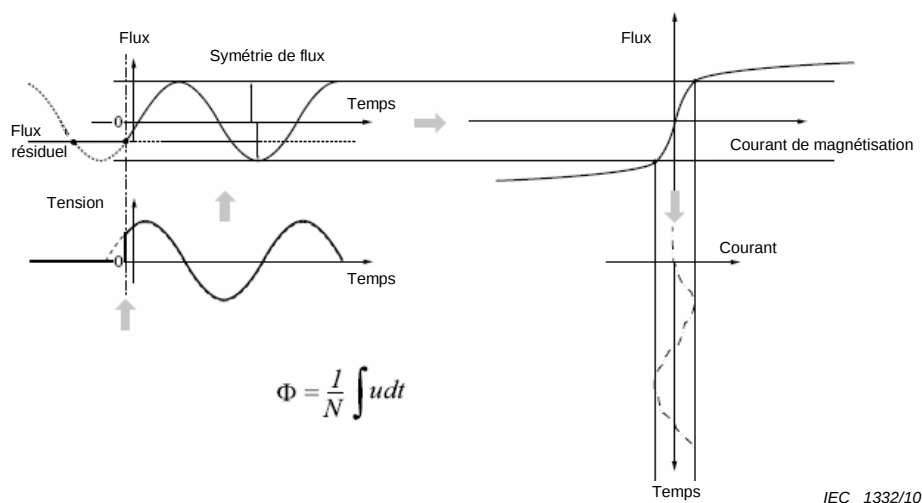
Courant d'appel élevé en raison d'un instant d'établissement mal sélectionné.

Le flux démarre à partir du niveau de flux résiduel et avec une forme d'onde présumée mais avec un contrebalancement en raison de l'inertie magnétique.

Exemple avec aucun flux résiduel.

Figure D.2 – Exemple d'asymétrie de flux lors de la fermeture à un instant inapproprié

La solution pour créer la symétrie de flux à l'excitation (afin de simuler les conditions d'état stationnaire) est d'établir le courant aux instants où le flux présumé rencontre le flux résiduel. Un exemple d'une excitation destinée à conduire à une symétrie de flux apparaît en Figure D.3. Le transformateur est excité à un instant où le flux présumé correspond au flux résiduel.



Courant d'appel minimisé engendré par la sélection de l'instant d'établissement optimal (lorsque le flux résiduel est égal au flux présumé).

**Figure D.3 – Excitation d'un transformateur
lorsque le flux présumé est égal au flux résiduel**

La méthode décrite nécessite que le niveau de flux résiduel soit connu soit par mesurage ou par détermination préalable lors d'une interruption contrôlée.

Pour l'excitation des transformateurs il est considéré que le flux résiduel demeure le même entre la désexcitation et la prochaine excitation.

Deux stratégies différentes peuvent être utilisées pour la commutation à trois phases, la stratégie de fermeture rapide où toutes les phases sont excitées au sein d'un demi-cycle ou la stratégie de fermeture retardée où les derniers pôles sont fermés plusieurs cycles après le premier pôle. La seconde alternative se révèle particulièrement utile lors de la commutation de transformateurs dotés de circuits dépendants magnétiques pour lesquels l'égalisation du flux simplifiera le ciblage.

Annexe E (informative)

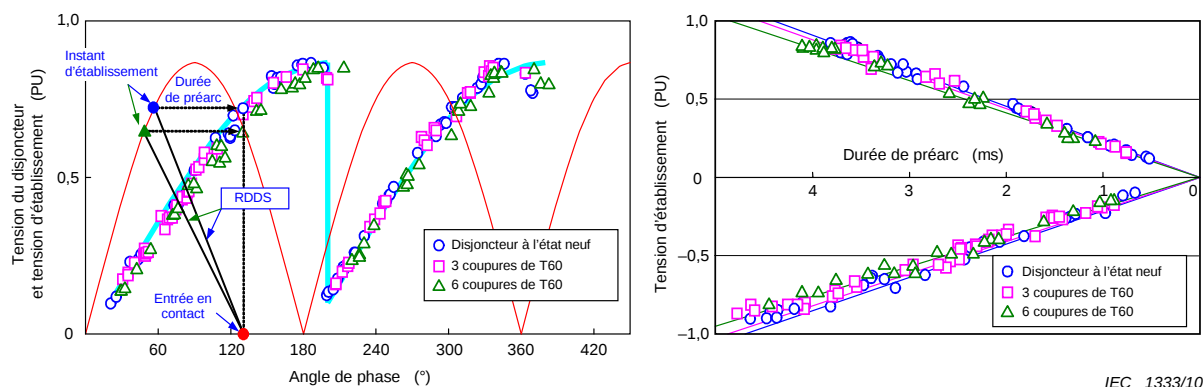
Exemple des effets de l'usure de contact sur RDDS

La tension de tenue entre les contacts d'un disjoncteur diminue avec l'intervalle entre les contacts durant la course de fermeture. L'instant d'établissement survient lorsque la tension du disjoncteur dépasse la tension de tenue diélectrique de(s) intervalle(s). En général, l'écart de cet instant peut provenir de la variation mécanique de la durée de fermeture et des variations dans le préamorçage caractérisé par le RDDS.

Inversement, la tension de tenue entre les contacts augmente avec l'intervalle entre les contacts durant la course d'ouverture. Le disjoncteur peut interrompre avec succès un courant inductif et éviter le rallumage lorsque la tension de tenue diélectrique entre les intervalles suivant l'interruption dépasse toujours une tension de rétablissement transitoire dans le disjoncteur. Le RRDS caractéristique est défini par un essai d'interruption d'un faible courant inductif.

L'usure progressive des systèmes de contact et des buses peut affecter ces caractéristiques RDDS et RRDS et par conséquent le mesurage de RDDS est requis avec le disjoncteur en état neuf et usagé. Pour les besoins du présent rapport technique, l'usure est simulée par le préconditionnement du disjoncteur avec trois interruptions T60 avec des durées d'arc comme celles définies pour un essai d'un système classe C2 à commutation à courant capacitif.

Sur la Figure E.1 apparaît un mesurage typique des caractéristiques de préamorçage tracées selon un cycle de tension de fréquence industrielle. Les mesurages consistent en trois séries d'essai avec une tension élevée, un disjoncteur à gaz neuf et suivis du préconditionnement de trois et six interruptions T60 avec des durées d'arc moyennes. Le RDDS du disjoncteur usagé diminue légèrement (environ 2 %) par rapport à celui du disjoncteur neuf. Si cela est considéré comme significatif par rapport aux performances totales, une compensation adaptative peut être appliquée assurant que la détection directe de l'instant d'établissement du signal de courant soit disponible.



IEC 1333/10

Figure E.1 – Effets de l'usure des contacts sur RDDS pour un disjoncteur à gaz à tension élevée

Annexe F (informative)

Exemples soutenant la prise en considération de plusieurs conditions de fonctionnement comme indépendantes les unes des autres

F.1 Variation des durées de fermeture en fonction des conditions de fonctionnement avec un disjoncteur à gaz à ressorts

Les variations du temps de fonctionnement dépendent des conditions de fonctionnement telles que la tension de commande, la température ambiante, la pression de fonctionnement et le temps de pause. Ces caractéristiques sont étroitement liées à la conception du disjoncteur. Par exemple, certaines conceptions sont affectées par des modifications de la force de déclenchement d'un loquet activé par une bobine et dont le mouvement du loquet dépend essentiellement de la tension de commande et du courant de la bobine. La température ambiante l'affecte également car la résistance de la bobine augmente avec la température.

De manière similaire, le mouvement mécanique des pièces mobiles d'un interrupteur dépend de la pression mécanique et des frottements des pièces coulissantes pouvant être affectés par des facteurs tels que la température ambiante et le temps de pause.

Il a été considéré dans le présent rapport technique que les variations du temps de fonctionnement pouvaient être exprimées de manière approximative en prenant en compte les effets de chacune des variables. L'exemple suivant soutient également cette hypothèse. Il est suggéré que le mouvement peut être divisé en deux périodes durant chacune desquelles une seule variable importante fait varier le temps de fonctionnement sur une gamme de températures donnée.

Un exemple typique des recherches relatives à la fermeture avec un disjoncteur à gaz à tension élevée est fourni. La Figure F.1 présente schématiquement la courbe de déplacement ainsi que le courant de la bobine. La durée de fermeture (T_{close}) peut être divisée en deux périodes entre la mise sous tension de la bobine et l'instant de déverrouillage ($T_{\text{latch-release}}$) puis entre l'instant de déverrouillage et l'entrée en contact ($T_{\text{cont-touch}}$). La figure montre des mesurages typiques de la dépendance de $T_{\text{latch-release}}$ et de $T_{\text{cont-touch}}$ sur la température ambiante T_{em} et la tension de commande V_{control} . La variation de la durée de fermeture (ΔT_{close}) dépend généralement essentiellement de ces deux variables, T_{em} et V_{control} .

$$T_{\text{close}} = T_{\text{latch-release}} + T_{\text{cont-touch}}$$

$$\Delta T_{\text{close}} = \Delta T_{\text{latch-release}} + \Delta T_{\text{cont-touch}} = f_1(T_{\text{em}}, V_{\text{control}})$$

Dans le cas de $T_{\text{latch-release}}$, la variation peut être déterminée par V_{control} à T_{em} fixe et peut également être considérée comme croissante à une vitesse spécifique à T_{em} croissante pour une V_{control} différente. Par conséquent, il peut être approximativement établi que:

$$\Delta T_{\text{latch-release}} = f_2(T_{\text{em}}) + f_3(V_{\text{control}})$$

D'autre part, la variation de $T_{\text{cont-touch}}$ ne peut être déterminée qu'en fonction de T_{em} étant donné qu'il n'est pas affecté par les modifications de V_{control} .

$$\Delta T_{\text{cont-touch}} = f_4(T_{\text{em}})$$

En conclusion, la variation de la durée de fermeture pour le disjoncteur à gaz à ressorts peut être exprimée comme deux fonctions indépendantes avec une seule variable, T_{em} et V_{control} respectivement.

$$\Delta T_{\text{close}} = \Delta T_{\text{latch-release}} + \Delta T_{\text{cont-touch}} = f_3(V_{\text{control}}) + f_5(T_{\text{em}})$$

Bien sûr, la différence au sein des temps de fonctionnement peut être programmée dans un contrôleur à l'aide d'une fonction à deux combinaisons de variables afin de compenser la dépendance du temps de fonctionnement aux variables externes, apportant ainsi une prédiction plus précise.

$$\Delta T_{\text{close}} = \Delta T_{\text{latch-release}} + \Delta T_{\text{cont-touch}} = f_6(T_{\text{em}}, V_{\text{control}})$$

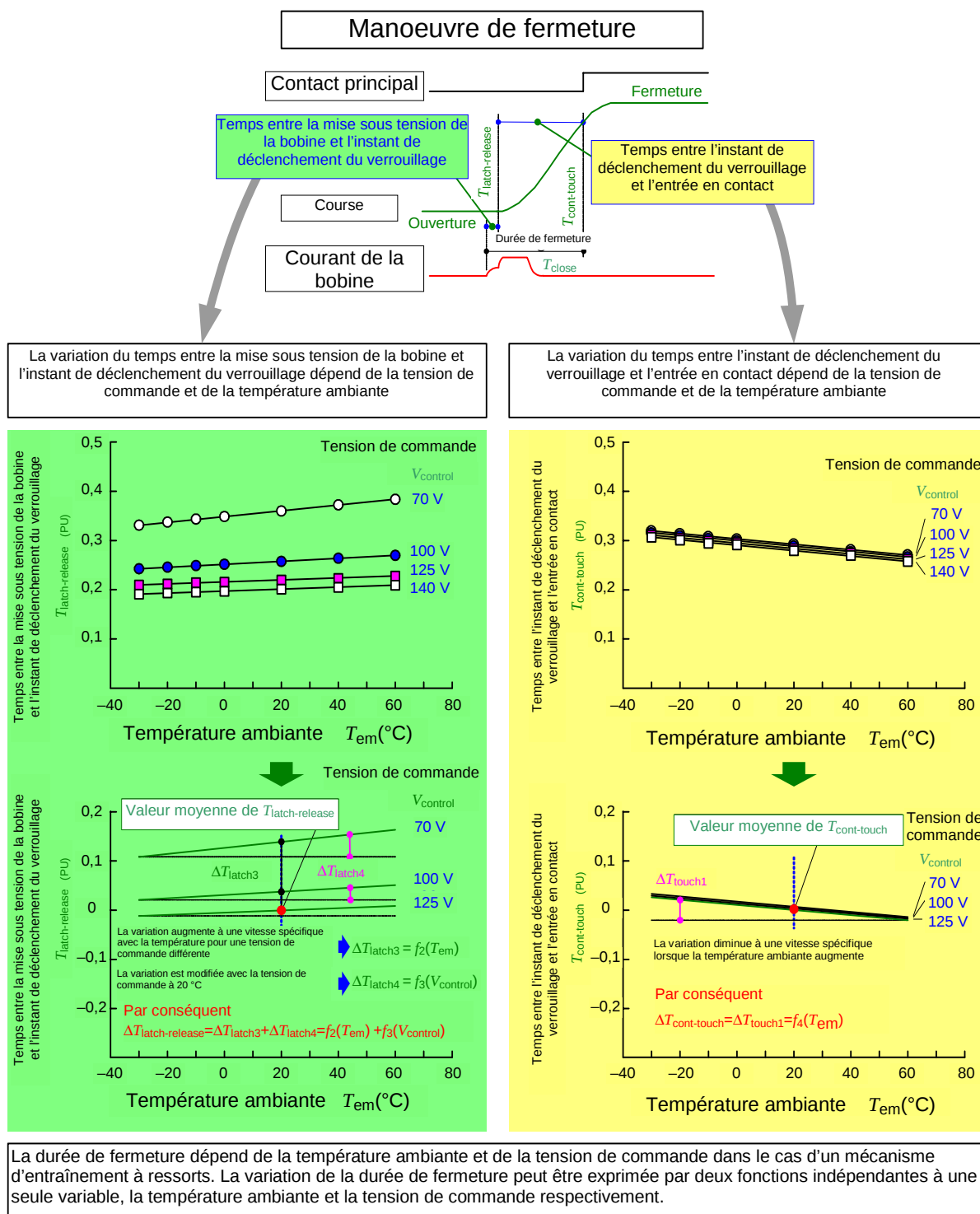


Figure F.1 – Dépendance de la durée de fermeture aux variables externes pour les disjoncteurs à gaz à ressorts

F.2 Variation des durées d'ouverture en fonction des conditions de fonctionnement avec un disjoncteur pneumatique à gaz

Un autre exemple des recherches détaillées concernant les manœuvres d'ouverture des disjoncteurs pneumatiques à gaz est décrit. La Figure F.2 présente schématiquement la courbe de déplacement ainsi que le courant de la bobine. La durée d'ouverture (T_{open}) peut être divisée en deux périodes entre la mise sous tension de la bobine et l'instant de déverrouillage ($T_{\text{latch-release}}$) puis entre l'instant de déverrouillage et la séparation des contacts ($T_{\text{cont-separation}}$). La variation du temps de fonctionnement (ΔT_{open}) dépend généralement de trois variables: la température ambiante (T_{em}), la tension de commande (V_{control}) et la pression d'entraînement (P_{drive}). Cette figure présente également des mesurages typiques de la dépendance de $T_{\text{latch-release}}$ et de $T_{\text{cont-touch}}$ à T_{em} , V_{control} et P_{drive} .

$$T_{\text{open}} = T_{\text{latch-release}} + T_{\text{cont-separation}}$$

$$\Delta T_{\text{open}} = \Delta T_{\text{latch-release}} + \Delta T_{\text{cont-separation}} = g_1(T_{\text{em}}, V_{\text{control}}, P_{\text{drive}})$$

Dans le cas de $T_{\text{latch-release}}$, la variation peut être déterminée en fonction de T_{em} et V_{control} étant donné que la force requise pour déverrouiller le verrou n'est pas affectée par la modification de P_{drive} . Selon l'expérience, la variation ne dépend que de V_{control} à T_{em} supérieure à 20 °C et augmente à une vitesse spécifique avec T_{em} (inférieure à 20 °C) pour un V_{control} donné. Par conséquent, il peut être approximativement établi que:

$$\Delta T_{\text{latch-release}} = g_2(T_{\text{em}}) + g_3(V_{\text{control}})$$

D'autre part, la variation de $T_{\text{cont-separation}}$ ne peut être déterminée qu'en fonction de T_{em} et de P_{drive} étant donné qu'il n'est pas affecté par les modifications de V_{control} . La variation ne dépend que de P_{drive} à T_{em} supérieure à 20 °C et augmente à une vitesse spécifique avec T_{em} (inférieure à 20 °C) pour une P_{drive} donnée. Par conséquent, il peut être approximativement établi que:

$$\Delta T_{\text{cont-separation}} = g_4(T_{\text{em}}) + g_5(P_{\text{drive}})$$

En conclusion, la variation de la durée d'ouverture pour le disjoncteur pneumatique à gaz peut être exprimée comme trois fonctions indépendantes avec une seule variable, T_{em} , V_{control} et P_{drive} respectivement.

$$\Delta T_{\text{open}} = \Delta T_{\text{latch-release}} + \Delta T_{\text{cont-separation}} = g_6(T_{\text{em}}) + g_3(V_{\text{control}}) + g_5(P_{\text{drive}})$$

La différence au sein des temps de fonctionnement peut également être programmée dans un contrôleur à l'aide de fonctions à deux combinaisons de variables afin de compenser plus précisément la dépendance du temps de fonctionnement aux variables externes.

$$\Delta T_{\text{open}} = \Delta T_{\text{latch-release}} + \Delta T_{\text{cont-separation}} = g_7(T_{\text{em}}, V_{\text{control}}) + g_8(T_{\text{em}}, P_{\text{drive}})$$

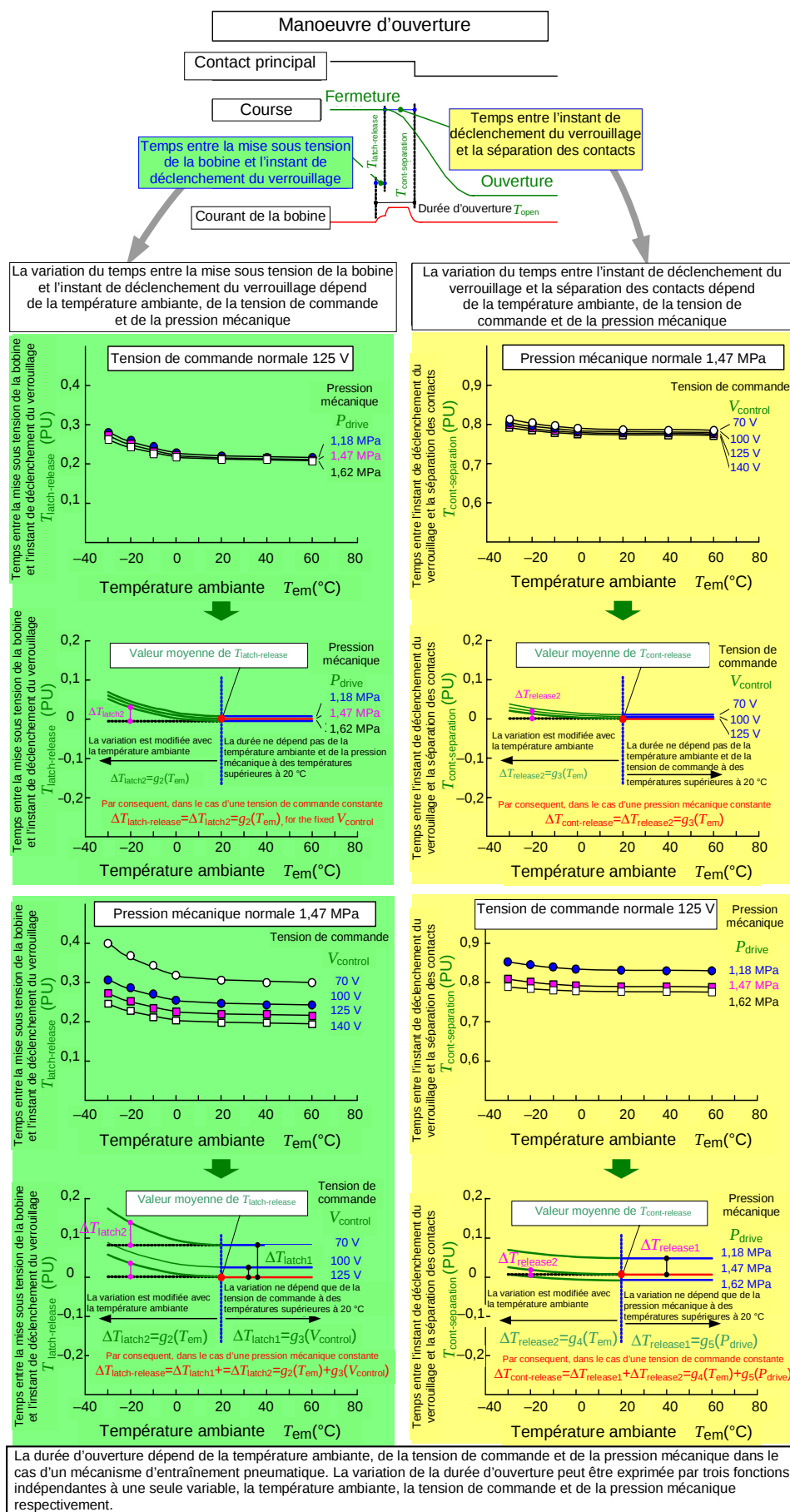


Figure F.2 – Dépendance de la durée d'ouverture aux variables externes pour les disjoncteurs pneumatiques à gaz

Annexe G (informative)

Exemple de l'effet du temps de pause sur le temps de fonctionnement

La variation du temps de fonctionnement en fonction du temps de pause résulte essentiellement des changements en fonction du temps des caractéristiques du fluide et du lubrifiant de fonctionnement entre les pièces coulissantes.

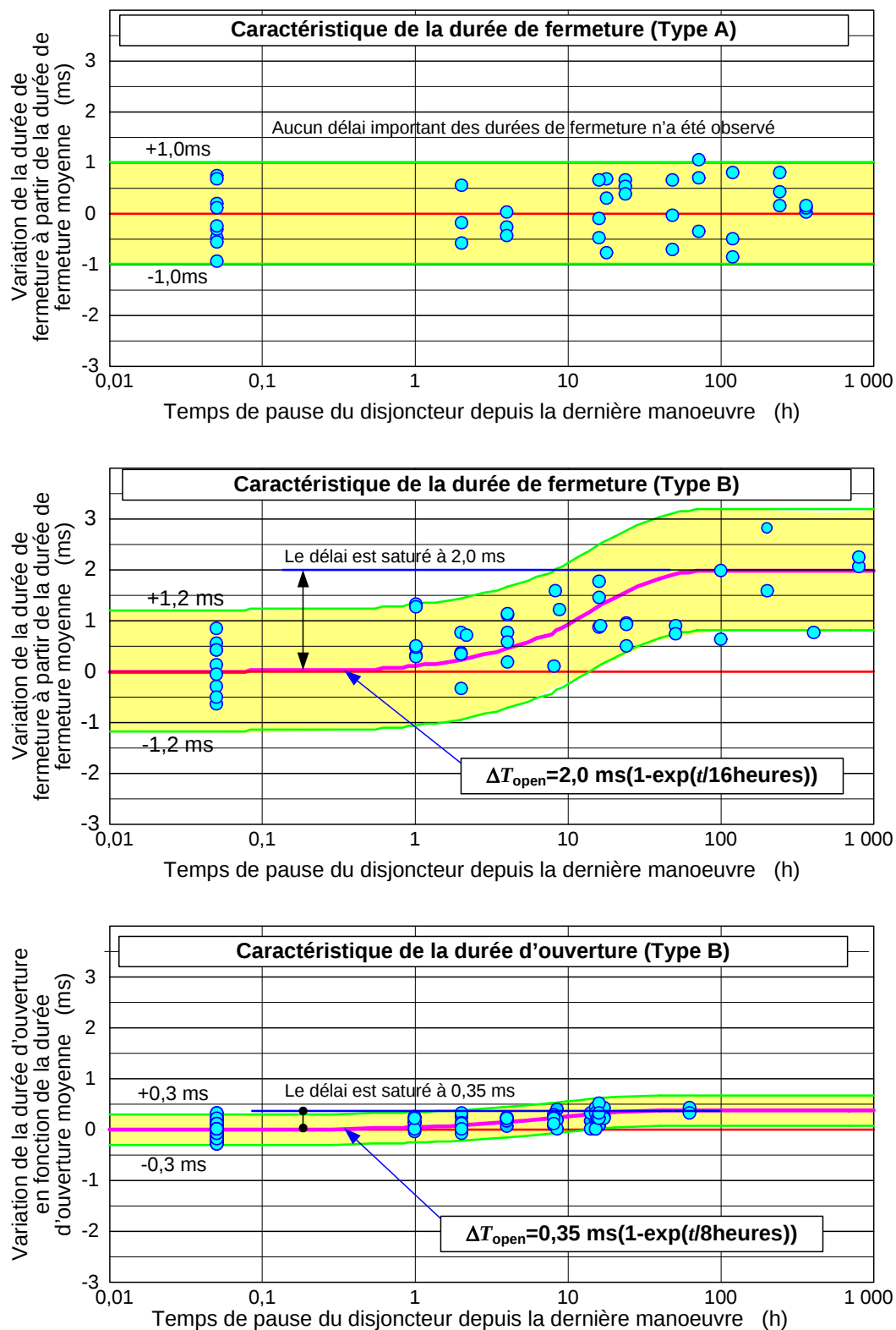
Sur la Figure G.1 (graphe du haut) apparaît la dépendance du temps de pause sur trois disjoncteurs haute tension à gaz du même type après un temps de pause compris entre 2 h et 720 h. Le mécanisme comporte un revêtement lubrifiant sur ses principales pièces coulissantes et démontre une faible dépendance au temps de pause jusqu'à 1 000 h.

Sur la Figure G.1 (graphe du milieu) apparaît les résultats des essais avec deux disjoncteurs du même type à gaz différents. Ils révèlent une augmentation de la durée de fermeture après plusieurs heures de pause, augmentation qui se stabilise à un délai maximal de 2,0 ms si le temps de pause dépasse les 100 heures. Cette caractéristique peut être exprimée par:

$$\Delta T_{\text{écart}} = T_{\text{saturation}} \left(1 - e^{-T_{\text{temps_pause}} / c} \right)$$

Un contrôleur peut compenser la dépendance au temps de pause des temps de fonctionnement basés sur cette caractéristique. Les exigences relatives à la compensation du temps de pause peuvent être essentiellement jugées à partir d'un mesurage jusqu'à 100 heures.

Sur la Figure G.1 (graphe du bas) apparaît un exemple des variations de la durée d'ouverture en fonction du temps de pause pour trois disjoncteurs à gaz du même type. La durée d'ouverture augmente légèrement avec le temps de pause. Lorsque la caractéristique est insérée dans une équation exponentielle, le délai de la durée d'ouverture se stabilisera à environ 0,35 ms avec une constante de temps de 8 h. L'écart par rapport à l'équation ne dépasse pas $\pm 0,3$ ms. Par conséquent, la caractéristique peut être programmée dans un contrôleur afin de compenser la dépendance du temps de fonctionnement au temps de pause.



IEC 1336/10

Figure G.1 – Caractéristiques du temps de pause des disjoncteurs à haute tension à gaz à plusieurs types de mécanismes

Bibliographie

- [1] CIGRE technical brochure 262, *Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers: Benefits and Economic Aspects*
 - [2] CIGRE technical brochure 263, *Controlled switching of HVAC Circuit Breakers – Guidance for further applications including unloaded transformer switching*
 - [3] CIGRE technical brochure 264, *Controlled switching of HVAC Circuit Breakers – Planning, Specifications and Testing*
 - [4] CEI 62271-10:2009, *Appareillage à haute tension – Partie 110: Manoeuvre de charges inductives*
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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