

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 109: Alternating-current series capacitor by-pass switches**

**Appareillage à haute tension –
Partie 109: Interrupteurs de contournement pour condensateurs série à courant alternatif**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**High-voltage switchgear and controlgear –
Part 109: Alternating-current series capacitor by-pass switches**

**Appareillage à haute tension –
Partie 109: Interrupteurs de contournement pour condensateurs série à courant alternatif**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.130.10

ISBN 978-2-8322-0851-9

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

CONTENTS

FOREWORD.....	8
1 General	10
1.1 Scope.....	10
1.2 Normative references	10
2 Normal and special service conditions	11
3 Terms and definitions	11
3.1 General terms	11
3.2 Assemblies.....	13
3.3 Parts of assemblies	13
3.4 Switching devices.....	13
3.5 Parts of by-pass switches	15
3.6 Operation	17
3.7 Characteristic quantities	18
3.8 Definitions related to series capacitor banks.....	23
3.9 Index of definitions	25
4 Ratings.....	28
4.1 Rated voltage (U_r)	29
4.2 Rated insulation level	29
4.2.101 Rated insulation level to earth	29
4.2.102 Rated insulation level across the by-pass switch	29
4.3 Rated frequency (f_r).....	29
4.4 Rated normal current (I_r) and temperature rise	30
4.5 Rated short-time withstand current (I_k)	30
4.6 Rated peak withstand current (I_p).....	30
4.7 Rated duration of short-circuit (t_k)	30
4.8 Rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits (U_a)	30
4.9 Rated supply frequency of closing and opening devices and auxiliary circuits.....	30
4.10 Rated pressures of compressed gas supply for insulation, operation and/or by-passing and insertion.....	30
4.101 Rated operating sequence	30
4.102 Rated by-pass making current (I_{BP})	31
4.104 Rated reinsertion voltage (U_{INS})	31
4.105 Rated time quantities.....	32
4.106 Number of mechanical operations.....	32
5 Design and construction	33
5.1 Requirements for liquids in by-pass switches.....	33
5.2 Requirements for gases in by-pass switches.....	33
5.3 Earthing of by-pass switches	33
5.4 Auxiliary equipment	33
5.5 Dependent power operation	34
5.6 Stored energy operation	34
5.7 Independent manual operation.....	34
5.8 Operation of releases	34

5.8.1	Shunt closing releases	34
5.8.2	Shunt opening releases	34
5.8.3	Capacitor operation of shunt releases	34
5.8.4	Under-voltage release	34
5.8.101	Multiple releases	34
5.8.102	Operation limits of releases	35
5.8.103	Power consumption of releases	35
5.9	Low- and high-pressure interlocking devices	35
5.10	Nameplates	35
5.11	Interlocking devices	37
5.12	Position indication	37
5.13	Degrees of protection by enclosures	37
5.14	Creepage distances	37
5.15	Gas and vacuum tightness	37
5.16	Liquid tightness	37
5.17	Fire hazard (flammability)	37
5.18	Electromagnetic compatibility	37
5.19	X-ray emission	38
5.20	Corrosion	38
5.101	Requirements for simultaneity within a pole	38
5.102	General requirement for operation	38
5.103	Pressure limits of fluids for operation	38
5.104	Vent outlets	38
6	Type tests	39
6.1	General	40
6.1.1	Grouping of tests	40
6.1.2	Information for identification of specimens	40
6.1.3	Information to be included in type test reports	40
6.2	Dielectric tests	41
6.2.1	Ambient air conditions during tests	41
6.2.2	Wet test procedure	41
6.2.3	Condition of by-pass switch during dielectric tests	41
6.2.4	Criteria to pass the test	41
6.2.5	Application of test voltage and test conditions	42
6.2.6	Tests of by-pass switches of $U_{re} \leq 245$ kV or $U_{rp} \leq 245$ kV	42
6.2.7	Tests of by-pass switches of $U_{re} > 245$ kV or $U_{rp} > 245$ kV	42
6.2.8	Artificial pollution tests	43
6.2.9	Partial discharge tests	43
6.2.10	Tests on auxiliary and control circuits	43
6.2.11	Voltage test as a condition check	43
6.3	Radio interference voltage (r.i.v.) tests	44
6.4	Measurement of the resistance of the main circuit	44
6.5	Temperature-rise tests	45
6.5.1	Conditions of the by-pass switch to be tested	45
6.5.2	Arrangement of the equipment	45
6.5.3	Measurement of the temperature and the temperature rise	45
6.5.4	Ambient air temperature	45
6.5.5	Temperature-rise tests of the auxiliary and control equipment	45

6.5.6	Interpretation of the temperature-rise tests	45
6.6	Short-time withstand current and peak withstand current tests	45
6.6.1	Arrangement of the by-pass switch and of the test circuit	45
6.6.2	Test current and duration.....	45
6.6.3	Behaviour of the by-pass switch during test.....	45
6.6.4	Conditions of the by-pass switch after test.....	45
6.7	Verification of the degree of protection	45
6.7.1	Verification of the IP coding.....	45
6.7.2	Mechanical impact test (verification of the IK coding)	45
6.8	Tightness tests	46
6.9	Electromagnetic compatibility (EMC) tests.....	46
6.10	Additional tests on auxiliary and control circuits	46
6.10.1	General	46
6.10.2	Functional tests	46
6.10.3	Electrical continuity of earthed metallic parts test	46
6.10.4	Verification of the operational characteristics of auxiliary contacts.....	46
6.10.5	Environmental tests	46
6.11	X-Radiation test procedure for vacuum interrupters	47
6.101	Mechanical and environmental tests	47
6.101.1	Miscellaneous provisions for mechanical and environmental tests	47
6.101.2	Mechanical operation test at ambient air temperature.....	49
6.101.3	Low and high temperature tests	51
6.101.4	Humidity test	55
6.101.5	Test to prove the operation under severe ice conditions	55
6.101.6	Static terminal load test.....	55
6.102	Miscellaneous provisions for by-pass making and insertion tests	57
6.102.1	General	57
6.102.2	Number of test specimens	57
6.102.3	Arrangement of by-pass switch for tests	57
6.102.4	General considerations concerning testing methods	59
6.102.5	Synthetic tests	61
6.102.6	No-load operations before tests.....	61
6.102.7	Alternative operating mechanisms	61
6.102.8	Behaviour of by-pass switch during tests	62
6.102.9	Condition of by-pass switch after tests	62
6.103	Sequence of the tests	64
6.104	By-pass making current test-duty.....	64
6.104.1	General	64
6.104.2	Characteristics of supply circuit.....	64
6.104.3	Test voltage	65
6.104.4	Test current.....	65
6.105	Insertion current test-duty	66
6.105.1	General	66
6.105.3	Test voltage	67
6.105.4	Test current.....	67
6.105.5	Number of operations	67
6.106	Criteria to pass the test duties	68
7	Routine tests	68

7.1	Dielectric test on the main circuit	68
7.2	Dielectric test on auxiliary and control circuits	69
7.3	Measurement of the resistance of the main circuit	69
7.4	Tightness test	69
7.5	Design and visual checks	69
7.101	Mechanical operating tests	69
8	Guide to the selection of by-pass switches for service	71
9	Information to be given with enquiries, tenders and orders	71
9.101	Information to be given with enquiries and orders	71
9.102	Information to be given with tenders	72
10	Rules for transport, storage, installation, operation and maintenance	74
10.1	Conditions during transport, storage and installation	74
10.2	Installation	74
10.2.101	Guide for commissioning tests	74
10.2.102	Commissioning checks and test programme	75
10.3	Operation	80
10.4	Maintenance	80
10.4.101	Resistors and capacitors (if applicable)	80
11	Safety	80
12	Influence of the product on environment	81
Annex A (normative) Tolerances on test quantities during type tests		99
Annex B (normative) Records and reports of type tests		103
Annex C (informative) List of symbols and abbreviations used		106
Annex D (informative) Examples of by-pass switch ratings		108
Annex E (informative normative) By-pass switches used as the primary by-passing devices		115
Annex F (informative) Explanatory note regarding transient recovery voltage during reinsertion		117
Annex G (normative) Use of mechanical characteristics and related requirements		127
Bibliography		129
Figure 1 – By-pass switch – Opening and closing operations		82
Figure 2 – By-pass switch – Close-open cycle		83
Figure 3 – By-pass switch – Open-close cycle		84
Figure 4 – Test sequences for low and high temperature tests		85
Figure 5 – Static terminal load forces		86
Figure 6 – Directions for static terminal load tests		87
Figure 7 – Reference mechanical travel characteristics (idealized curve)		88
Figure 8 – Reference mechanical travel characteristics (idealized curve) with the prescribed envelopes centred over the reference curve ($\pm 5\%$), contact separation in this example at time $t = 20\text{ ms}$		88
Figure 9 – Reference mechanical travel characteristics (idealized curve) with the prescribed envelopes fully displaced upward from the reference curve ($^{+10}_0\%$), contact separation in this example at time $t = 20\text{ ms}$		89

Figure 10 – Reference mechanical travel characteristics (idealized curve) with the prescribed envelopes fully displaced downward from the reference curve (0_{-10} %), contact separation in this example at time $t = 20$ ms	89
Figure 11 – Equivalent testing set-up for unit testing of by-pass switches with more than one separate by-pass units	90
Figure 12 – Typical test circuit for the by-pass making current test-duty	91
Figure 13 – Oscillogram obtained from the typical test circuit for the by-pass making current test-duty	92
Figure 14 – Typical LC test circuit for the insertion current test-duty	93
Figure 15 – Oscillogram obtained from the typical LC test circuit for the insertion current test-duty	94
Figure 16 – Typical test circuit for the insertion current test-duty (mainly for high rated insertion current)	95
Figure 17 – Oscillogram obtained from the typical test circuit shown in Figure 16 for the insertion current test-duty	96
Figure 18 – Typical direct test circuit for the insertion current test-duty.....	97
Figure 19 – Oscillogram obtained from the typical direct test circuit for the insertion current test-duty	98
Figure E.1 – Typical components layout for by-pass switches used as the primary by-passing device.....	115
Figure F.1 – Typical example of the transient reinsertion voltage across a by-switch for a low compensation factor scheme ($k = 0,2$) and for a power swing of 1,8 p.u.....	123
Figure F.2 – Typical example of the transient reinsertion voltage across a by-switch for an high compensation factor scheme ($k = 0,5$) and for a power swing of 1,8 p.u.	124
Figure F.3 – Comparison of the calculated transient reinsertion voltage examples and possible testing envelopes for 50 Hz systems.....	124
Figure F.4 – Comparison of the calculated transient reinsertion voltage examples and possible testing envelopes for 60 Hz systems.....	125
Table 1 – Nameplate information	36
Table 2 – Type tests	40
Table 3 – Invalid tests.....	41
Table 4 – Number of operating sequences.....	50
Table 5 – Examples of static horizontal and vertical forces for static terminal load test	56
Table 6 – Application of voltage for dielectric test on the main circuit.....	69
Table 7 – Test procedures for by-pass making current tests	66
Table A.1 – Tolerances on test quantities for type tests	100
Table D.1 – Typical ratings for a series capacitor bank by-pass switch – Cases 1 to 6.....	109
Table D.2 – Typical series capacitor bank by-pass switch ratings – Cases 7 to 12.....	111
Table D.3 – Typical series capacitor bank by-pass switch ratings – Cases 13 to 18.....	113
Table F.1 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing nor emergency overload, $I_{load} = 1,0$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz.....	118
Table F.2 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing but with an emergency overload, $I_{load} = 1,2$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz	118

Table F.3 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing but with an emergency overload, $I_{load} = 1,4$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz	118
Table F.4 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing but with an emergency overload, $I_{load} = 1,6$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz	119
Table F.5 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 1,8$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz	119
Table F.6 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 2,0$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz	119
Table F.7 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 2,3$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz	120
Table F.8 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 2,5$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz	120
Table F.9 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing nor emergency overload, $I_{load} = 1,0$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 60$ Hz	120
Table F.10 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing but with an emergency overload, $I_{load} = 1,2$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 60$ Hz	121
Table F.11 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing but with an emergency overload, $I_{load} = 1,4$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 60$ Hz	121
Table F.12 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing but with an emergency overload, $I_{load} = 1,6$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 60$ Hz	121
Table F.13 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 1,8$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 60$ Hz	122
Table F.14 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 2,0$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 60$ Hz	122
Table F.15 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 2,3$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 60$ Hz	122
Table F.16 – Typical examples of reinsertion recovery voltages for systems having power swing, $I_{load} = 2,5$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 60$ Hz	123
Table G.1 – Summary of type tests related to mechanical characteristics	128

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

**Part 109: Alternating-current series capacitor
by-pass switches**

FOREWORD

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

This consolidated version of IEC 62271-109 consists of the second edition (2008) [documents 17A/837/FDIS and 17A/844/RVD] and its amendment 1 (2013) [documents 17A/1038/FDIS and 17A/1043/RVD]. It bears the edition number 2.1.

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

International Standard IEC 62271-109 has been prepared by subcommittee 17A: High-voltage switchgear and controlgear, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

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

The main changes with respect to the previous edition are listed below:

- By-passing test duty has been split with operations at rated by-pass making current I_{BP} and operations at capacitor bank discharge current $I_{DISCHARGE}$.
- Equivalence regarding applicability of test parameters (current peak and frequency) during by-pass making tests in relation with service conditions have been reviewed and changed accordingly.
- Recovery voltage waveshape during insertion test duty has been recalculated and optimized. An explanatory note on the calculation of the recovery voltage is given in Annex F.
- Withdrawal of the electrical endurance class BP2. Such devices are now covered in informative Annex E
- Addition of Annex D which gives examples of typical by-pass switch ratings.

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

This standard is to be read in conjunction with IEC 62271-100 and IEC 62271-1 (2007), to which it refers and which is applicable, unless otherwise specified in this standard. In order to simplify the indication of corresponding requirements, the same numbering of clauses and subclauses is used as in IEC 62271-1. 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 maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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 publication using a colour printer.

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

Part 109: Alternating-current series capacitor by-pass switches

1 General

1.1 Scope

This part of IEC 62271 is applicable to a.c. series capacitor by-pass switches designed for outdoor installation and for operation at frequencies of 50 Hz and 60 Hz on systems having voltages above 52 kV.

It is only applicable to by-pass switches for use in three-phase systems.

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

1.2 Normative references

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

IEC 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-436:1990, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 436: Power capacitors*

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

IEC 60050-604:1987, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

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

IEC 60143-1:2004, *Series capacitors for power systems – Part 1: General*

IEC 60143-2:1994, *Series capacitors for power systems – Part 2: Protective equipment for series capacitor banks*

IEC 60296, *Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*

IEC 60376, *Specification of technical grade sulphur hexafluoride (SF₆) for use in electrical equipment*

IEC 60480, *Guidelines for the checking and treatment of sulphur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment and specification for its re-use*

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

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

IEC 62271-100:2008, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers*

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

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

IEC 62271-303, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 303: Use and handling of sulphur hexafluoride (SF₆)*

2 Normal and special service conditions

Clause 2 of IEC 62271-1 is applicable.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions of IEC 60050-151, IEC 60050-436, IEC 60050-441, IEC 60050-604, IEC 60143-1, IEC 60143-2 and IEC 62271-1 apply. Some of them are recalled here for ease of reference.

Additional terms and definitions are classified so as to be aligned with the classification used in IEC 60050-441.

3.1 General terms

3.1.101

switchgear and controlgear

[IEV 441-11-01]

3.1.102

outdoor switchgear and controlgear

[IEV 441-11-05]

3.1.103

short-circuit current

[IEV 441-11-07]

3.1.104

ambient air temperature

[IEV 441-11-13]

3.1.105

temperature rise (of a part of a by-pass switch)

difference between the temperature of the part and the ambient air temperature

3.1.106

overvoltage (in a system)

any voltage between one phase and earth or between phases having a peak value or values exceeding the corresponding peak of the highest voltage for equipment

[IEV 604-03-09, modified]

3.1.107

unit test

test made on a by-passing or insertion unit or group of units at the by-pass making current or the insertion current, specified for the test on the complete pole of a by-pass switch and at the appropriate fraction of the applied voltage, or the recovery voltage, specified for the test on the complete pole of the by-pass switch

3.1.108

external insulation

distances in air and the surfaces in contact with open air of solid insulation of the equipment, which are subject to dielectric stresses and to the effects of atmospheric and other external conditions such as pollution, humidity, vermin, etc.

[IEV 604-03-02, modified]

3.1.109

internal insulation

internal solid, liquid or gaseous parts of the insulation of equipment, which are protected from the effects of atmospheric and other external conditions

[IEV 604-03-03]

3.1.110

self-restoring insulation

insulation which completely recovers its insulating properties after a disruptive discharge

[IEV 604-03-04]

3.1.111

non-self restoring insulation

insulation which loses its insulating properties, or does not recover them completely, after a disruptive discharge

[IEV 604-03-05]

3.1.112

disruptive discharge

phenomenon associated with the failure of insulation under electric stress, in which the discharge completely bridges the insulation under test, reducing the voltage between the electrodes to zero or nearly to zero

NOTE 1 This term applies to discharges in solid, liquid and gaseous dielectrics and to combinations of these.

NOTE 2 A disruptive discharge in a solid dielectric produces permanent loss of dielectric strength (non-self-restoring insulation); in a liquid or gaseous dielectric, the loss may be only temporary (self-restoring insulation).

NOTE 3 The term "sparkover" is used when a disruptive discharge occurs in a gaseous or liquid dielectric. The term "flashover" is used when a disruptive discharge occurs over the surface of a solid dielectric in a gaseous or liquid medium. The term "puncture" is used when a disruptive discharge occurs through a solid dielectric.

3.1.113

restrike performance

expected probability of restrike during insertion current test-duty as demonstrated by specified type test

NOTE Specific numeric probabilities cannot be applied throughout a by-pass switch service life.

3.1.114

re-ignition (of an a.c. mechanical switching device)

[IEV 441-17-45]

3.1.115**restrike (of an a.c. mechanical switching device)**

[IEV 441-17-46]

3.1.116**non-sustained disruptive discharge (NSDD)**

disruptive discharge associated with current interruption, that does not result in the resumption of power frequency current or, in the case of insertion does not result in current in the series capacitor bank

NOTE Oscillations following NSDDs are associated with the parasitic capacitance and inductance local to or of the by-pass switch itself. NSDDs may also involve the stray capacitance to ground of nearby equipment.

3.2 Assemblies

No particular definitions.

3.3 Parts of assemblies

No particular definitions.

3.4 Switching devices**3.4.101****switching device**

[IEV 441-14-01]

3.4.102**mechanical switching device**

[IEV 441-14-02]

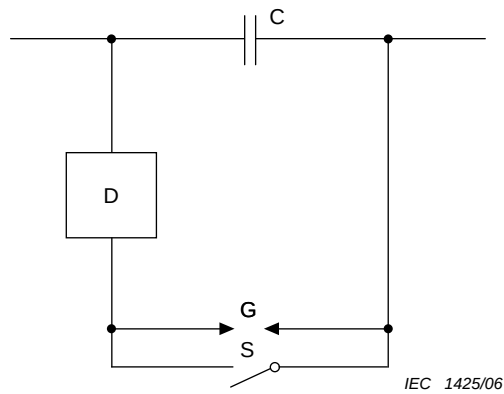
3.4.103**by-pass switch**

three-phase switching device used in parallel with a series capacitor and its overvoltage protector to shunt line current of a specified level for a specified time, or continuously. By-pass switches may be three-pole or single-pole operated

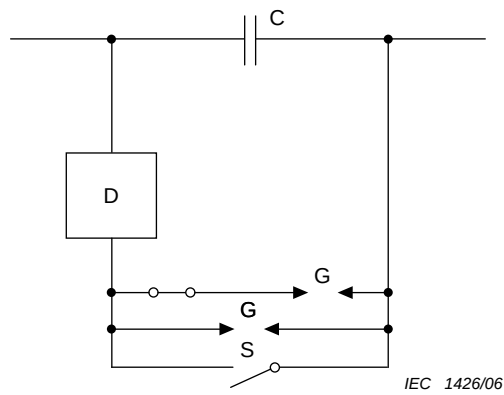
NOTE 1 Besides by-passing the capacitor, this device normally has the capability to insert the capacitor into a circuit that carries a specified level of current.

NOTE 2 By-pass switches are normally used in conjunction with a fast by-passing device for example spark-gap (for special applications without the use of a fast by-passing device, see Annex E).

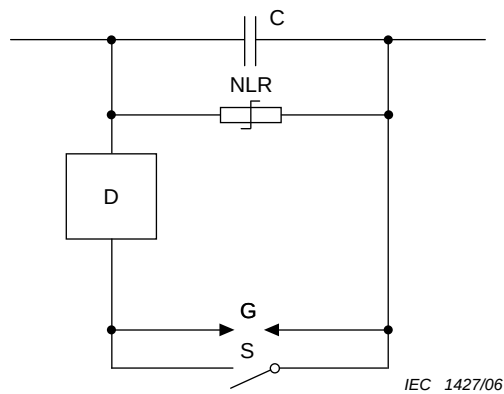
Examples of series capacitor layouts using a fast by-passing device in parallel with the by-pass switch (see IEC 60143-1) are shown below:



Single gap



Dual gap



Non-linear resistor with by-pass gap

Key

C	series capacitor
D	damping circuit
G	spark-gap
S	by-pass switch
NLR	non linear resistor

3.4.104**by-pass switch class M1**

by-pass switch with normal mechanical endurance (mechanically type tested for 2 000 operating sequences) not falling into the category of class M2 as defined in 3.4.105

3.4.105**by-pass switch class M2**

frequently operated by-pass switch for special service requirements and designed so as to require only limited maintenance as demonstrated by specific type tests (by-pass switch with extended mechanical endurance, mechanically type tested for 10 000 operating sequences). This type of by-pass switch is normally used on multi-segmented capacitors where the control of the capacitor impedance is a frequent duty

3.5 Parts of by-pass switches**3.5.101****pole**

[IEV 441-15-01]

3.5.102**main circuit**

[IEV 441-15-02]

3.5.103**control circuit**

[IEV 441-15-03]

3.5.104**auxiliary circuit**

[IEV 441-15-04]

3.5.105**contact**

[IEV 441-15-05]

3.5.106**contact piece**

[IEV 441-15-06]

3.5.107**main contact**

[IEV 441-15-07]

3.5.108**arcing contact**

[IEV 441-15-08]

3.5.109**control contact**

[IEV 441-15-09]

3.5.110**auxiliary contact**

[IEV 441-15-10]

3.5.111**auxiliary switch**

[IEV 441-15-11]

3.5.112
“a” contact;
make contact
[IEV 441-15-12]

3.5.113
“b” contact;
break contact
[IEV 441-15-13]

3.5.114
sliding contact
[IEV 441-15-15]

3.5.115
rolling contact
[IEV 441-15-16]

3.5.116
release
[IEV 441-15-17]

3.5.117
arc control device
[IEV 441-15-18]

3.5.118
position indicating device
[IEV 441-15-25]

3.5.119
connection (bolted or equivalent)
two or more conductors designed to ensure permanent circuit continuity when forced together by means of screws, bolts or the equivalent

3.5.120
terminal
component provided for the connection of a device to external conductors
[IEV 151-12-12, modified]

3.5.121
by-pass (or insertion) unit
part of a by-pass switch which in itself acts as a by-pass switch and which, in series with one or more identical and simultaneously operated by-pass or insertion units, forms the complete by-pass switch

NOTE 1 By-pass units and insertion units are normally combined but may be separated. Each unit may have several contacts.

NOTE 2 The means controlling the voltage distribution between units may differ from unit to unit.

3.5.122
module (of a by-pass switch)
assembly which generally comprises by-pass or insertion units, post-insulators (for live tank by-pass switches), bushings (for dead tank by-pass switches) and mechanical parts and which is mechanically and electrically connected to other identical assemblies to form a pole of a by-pass switch

3.5.123**enclosure**

part of switchgear and controlgear providing a specified degree of protection (see IEC 60529) of equipment against external influences and a specified degree of protection against approach to or contact with live parts and against contact with moving parts

[IEV 441-13-01, modified]

3.5.124**operating mechanism**

part of by-pass switch that actuates through the power kinematic chain, the main circuit contacts of the by-pass switch

3.5.125**power kinematic chain**

mechanical connecting system from and including the operating mechanism up to and including the moving contacts

NOTE See also A.3.5.111 of IEC 62271-102.

3.5.126**alternative operating mechanism**

an alternative operating mechanism is obtained when a change in the power kinematic chain of the original operating mechanism or the use of an entirely different operating mechanism leads to the same mechanical characteristics

NOTE 1 Mechanical characteristics are defined in 6.101.1.1. The use of mechanical characteristics and related requirements are described in Annex G.

NOTE 2 An alternative operating mechanism can implement an operating principle different from the original one (for example the alternative mechanism can be spring-operated and the original hydraulic).

NOTE 3 A change in the secondary equipment does not lead to an alternative operating mechanism.

3.6 Operation**3.6.101****operation**

[IEV 441-16-01]

3.6.102**operating cycle**

[IEV 441-16-02]

3.6.103**operating sequence**

[IEV 441-16-03]

3.6.104**closing operation**

[IEV 441-16-08]

3.6.105**opening operation**

[IEV 441-16-09]

3.6.106**auto-reopening**

operating sequence of a by-pass switch whereby, following its closing, it opens automatically after a predetermined time

3.6.107
positive opening operation
 [IEV 441-16-11]

3.6.108
positively driven operation
 [IEV 441-16-12]

3.6.109
dependent power operation
 [IEV 441-16-14]

3.6.110
stored energy operation
 operation by means of energy stored in the mechanism itself prior to the switching operation and sufficient to complete the specified operating sequence under predetermined conditions

3.6.111
independent manual operation
 stored energy operation where the energy originates from manual power, stored and released in one continuous operation, such that the speed and force of the operation are independent of the action of the operator
 [IEV 441-16-16]

3.6.112
closed position
 [IEV 441-16-22]

3.6.113
open position
 [IEV 441-16-23]

3.6.114
shunt release
 [IEV 441-16-41]

3.6.115
anti-pumping device
 device that prevents the reopening after an open-close operation as long as the device initiating opening is maintained in the position for opening

3.6.116
interlocking device
 [IEV 441-16-49]

3.6.117
by-pass switch with lock-out preventing opening
 by-pass switch in which none of the moving contacts can insert the capacitor if the opening command is initiated while the conditions which cause the closing operation remain established

3.7 Characteristic quantities

Figures 1 to 3 illustrate some definitions of this subclause.

Time quantities, see definitions 3.7.120 to 3.7.130, are expressed in milliseconds or in cycles. When expressed in cycles, the power frequency shall be stated in brackets.

3.7.101**rated value**

quantity value assigned, generally by a manufacturer, for a specified operating condition of component, device or equipment

3.7.102**prospective current (of a circuit and with respect to a switching device or a fuse)**

[IEV 441-17-01]

3.7.103**prospective peak current**

peak value of the first current loop of the prospective current during the transient period following initiation

NOTE The definition assumes that the current is made by an ideal by-pass switch, i.e. with instantaneous and simultaneous transition of its impedance across the terminals of each pole from infinity to zero. The peak value may differ from one pole to another; it depends on the instantaneous voltage across the capacitor prior to by-passing.

3.7.104**peak current**

peak value of the first current loop during the transient period following initiation

3.7.105**transient by-pass current**

superposition of capacitor bank discharge current and power-frequency current

3.7.106**peak value of transient by-pass current
by-pass making current**

peak value of the ~~transient~~ by-pass current in a pole of a by-pass switch during the transient period following the initiation of current during a by-passing operation. This value is the maximum instantaneous value of the sum of the capacitor bank discharge current component and the power-frequency current component. In case of system faults, the power-frequency fault current ~~shall be~~ is equal to the maximum varistor coordinating current or for schemes without varistor, the actual maximum power-frequency fault current at the particular location

NOTE 1 The peak value may differ from one pole to another and from one operation to another as it depends on the instantaneous capacitor voltage prior to by-passing.

NOTE 2 Where, for a three-phase circuit, a single value of peak value of ~~transient~~ by-pass **making** current is referred to, this is, unless otherwise stated, the highest value in any phase.

NOTE 3 The maximum power-frequency fault current at a particular location or the maximum varistor coordinating current is generally much lower than the rated peak withstand current of by-pass switch.

3.7.107**(by-pass) insertion current**

steady state root-mean-square current that flows through the by-pass switch immediately prior to opening

3.7.108**insertion capacity**

value of prospective current that a by-pass switch is capable of inserting at stated voltage under prescribed conditions of use and behaviour

3.7.109**by-passing capacity**

value of prospective current that a by-pass switch is capable of by-passing at a stated voltage under prescribed conditions of use and behaviour

3.7.110
short-circuit making capacity
[IEV 441-17-10]

3.7.111
short-time withstand current
[IEV 441-17-17]

3.7.112
peak withstand current
[IEV 441-17-18]

3.7.113
applied voltage
[IEV 441-17-24]

3.7.114
recovery voltage
[IEV 441-17-25]

3.7.115
power-frequency
recovery voltage
[IEV 441-17-27]

3.7.116
peak arc voltage
[IEV 441-17-30]

3.7.117
clearance
[IEV 441-17-31]

3.7.118
clearance between poles
[IEV 441-17-32]

3.7.119
clearance to earth
[IEV 441-17-33]

3.7.120
clearance between open contacts
[IEV 441-17-34]

3.7.121
opening time

opening time of a by-pass switch defined according to the tripping method as stated below and with any time delay device forming an integral part of the by-pass switch adjusted to its minimum setting.

For a by-pass switch tripped by any form of auxiliary power, the opening time is the interval of time between the instant of energising the opening release, the by-pass switch being in the closed position, and the instant when the arcing contacts have separated in all poles

NOTE 1 For by-pass switches with more than one insertion 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 2 The opening time includes the operating time of any auxiliary equipment necessary to open the by-pass switch and forming an integral part of the by-pass switch.

3.7.122

arcing time (of a multipole switching device)

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

[IEV 441-17-38]

3.7.123

insertion time

interval of time between the beginning of the opening time of a by-pass switch and the end of the arcing time

3.7.124

closing time

interval of time between energizing the closing circuit, the by-pass switch being in the open position, and the instant when the contacts touch in all poles

NOTE The closing time includes the operating time of any auxiliary equipment necessary to close the by-pass switch and forming an integral part of the by-pass switch.

3.7.125

by-pass time

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

NOTE 1 The by-pass time includes the operating time of any auxiliary equipment necessary to close the by-pass switch and forming an integral part of the by-pass switch.

NOTE 2 The by-pass time may vary, e.g. due to the variation of the pre-arcing time.

3.7.126

pre-arcing time

interval of time between the initiation of current flow in the first pole during a by-passing operation and the instant when the contacts touch in all poles for three-phase conditions or the instant when the contacts touch in the arcing pole for single-phase conditions

NOTE The pre-arcing time depends on the instantaneous value of the applied voltage during a specific by-passing operation and therefore may vary considerably.

3.7.127

open-close time

interval of time between the instant when the arcing contacts have separated in all poles and the instant when the contacts touch in the first pole during a by-passing operation

NOTE Unless otherwise stated, it is assumed that the closing release incorporated in the by-pass switch is energized at the instant when the contacts have separated in all poles during opening. This represents the minimum open-close time.

3.7.128

dead time (during auto-reclosing)

interval of time between final arc extinction in all poles in the insertion operation and the first re-establishment of current in any pole in the subsequent by-passing operation

NOTE The dead time may vary, e.g. due to the variation of the pre-arcing time.

3.7.129

by-passing-insertion time

interval of time between the initiation of current flow in the first pole during a by-passing operation and the end of the arcing time during the subsequent insertion operation

NOTE 1 The by-pass insertion time may vary due to the variation of the pre-arcing and arcing times.

NOTE 2 The by-pass insertion time should be compatible with system requirements.

3.7.130

minimum trip duration

minimum time the auxiliary power is applied to the opening release to ensure complete opening of the by-pass switch

3.7.131

minimum close duration

minimum time the auxiliary power is applied to the closing device to ensure complete closing of the by-pass switch

3.7.132

insulation level

for a by-pass switch, a characteristic defined by values indicating the insulation withstand voltages to earth and/or across the by-pass units

3.7.133

power-frequency withstand voltage

r.m.s. value of sinusoidal power-frequency voltage that the by-pass switch can withstand during tests made under specified conditions and for a specified time

[IEV 604-03-40, modified]

3.7.134

impulse withstand voltage

peak value of the standard impulse voltage wave which the insulation of the by-pass switch withstands under specified test conditions

NOTE Depending on the shape of wave, the term may be qualified as "switching impulse withstand voltage" or "lightning impulse withstand voltage".

3.7.135

minimum functional pressure for operation

pressure, referred to the standard atmospheric air conditions of +20 °C and 101,3 kPa, which may be expressed in relative or absolute terms, at which and above which rated characteristics of a by-pass switch are maintained and at which a replenishment of the operating device becomes necessary

NOTE This pressure is often designated as interlocking pressure (refer to 3.6.5.6 of IEC 62271-1).

3.7.136

minimum functional pressure for by-passing, insertion and insulation

pressure for by-passing, insertion and for insulation, referred to the standard atmospheric air conditions of +20 °C and 101,3 kPa, which may be expressed in relative or absolute terms, at which and above which rated characteristics of a by-pass switch are maintained and at which a replenishment of the by-passing, insertion and/or insulating fluid becomes necessary

NOTE 1 See also 3.6.5.5 of IEC 62271-1.

NOTE 2 For by-pass switches with a sealed pressure system (also termed sealed-for-life), the minimum functional pressure for by-passing and insertion is the one at which the rated characteristics of the by-pass switch are maintained taking into account the pressure drop at the end of the expected operating life.

3.8 Definitions related to series capacitor banks

3.8.1

capacitor

the word “capacitor” is used when it is not necessary to distinguish between the different meanings of the words capacitor unit and the assembly of capacitors associated with a segment

3.8.2

overvoltage protector (of a series capacitor)

quick-acting device that limits the voltage across the capacitor to a permissible value when that value would otherwise be exceeded as a result of a circuit fault or other abnormal power system conditions

[IEV 436-03-14, modified]

3.8.3

rated capacitance (of a capacitor)

C_N

capacitance value for which the capacitor has been designed

[IEV 436-01-12, modified]

3.8.4

rated current (of a capacitor)

I_N

r.m.s. value of the alternating current for which the capacitor has been designed

[IEV 436-01-13, modified]

3.8.5

rated reactance (of a capacitor)

X_N

reactance of each phase of the series capacitor at rated frequency and 20 °C dielectric temperature

3.8.6

rated voltage (of a capacitor)

U_N

r.m.s. value of the voltage between the terminals, derived from rated reactance and rated current $U_N = X_N \times I_N$

[IEV 436-01-15, modified]

3.8.7

limiting voltage

U_{LIM}

maximum peak of the power-frequency voltage occurring between capacitor unit terminals immediately before or during operation of the overvoltage protector, divided by $\sqrt{2}$

3.8.8

series capacitor bank (or bank)

three-phase assembly of capacitors with associated protection and insulated support structure

NOTE The bank may include one or more modules.

3.8.9**segment (of a series capacitor)**

where each phase of a bank is divided into one or more series connected parts, of which each part contains its own assembly of capacitor units, overvoltage protector, protective functions and bypass switch, each such complete part is called segment

NOTE Segments are not normally separated by isolating disconnectors. More than one segment can be on the same insulated platform.

3.8.10**bank protection**

general term for all protective equipment for a capacitor bank, or part thereof

3.8.11**by-pass current**

steady-state r.m.s. current flowing through the by-pass switch in parallel with the capacitor

3.8.12**by-pass fault current**

current flowing through the by-passed series capacitor bank caused by a fault on the line

3.8.13**by-pass gap (protective gap)**

gap, or system of gaps, to protect either the capacitor (type K) against overvoltage or the non-linear resistor (type M) against overload by carrying load or fault current around the protected parts for a specified time (see Figure 2 of IEC 60143-2)

3.8.14**by-pass interlocking device**

device that requires all three poles of the by-pass switch to be in the same open or closed position

3.8.15**current-limiting damping equipment**

reactor or a reactor with a parallel connected resistor to limit the current magnitude and frequency and to provide a sufficient damping of the discharge of the capacitors upon operation of the by-pass gap or the by-pass switch

3.8.16**insertion**

opening of the series capacitor by-pass switch to insert the series capacitor in series with the transmission line

3.8.17**insertion current**

r.m.s. current that flows through the series capacitor after the by-pass switch has opened. This current may be at the specified continuous or overload current magnitudes

3.8.18**insertion voltage**

peak voltage appearing across the series capacitor upon transfer of the by-pass current with the opening of the by-pass switch

3.8.19**main gap**

that part of the protective spark-gap intended to carry the fault current during a specified time, comprising two or more heavy-duty electrodes

3.8.20**module (capacitor switching step)**

three-phase function unit consisting of one capacitor segment (possibly several) per phase with provision for interlocked operation of the single-phase by-pass switches

3.8.21**non-linear resistor (varistor)**

device to act as overvoltage protection of the capacitor consisting of resistors with a non-linear voltage-dependent resistance (normally metal-oxide varistors)

3.8.22**protective level**

U_{PL}

magnitude of the maximum peak of the power-frequency voltage appearing across the overvoltage protector during a power system fault ($U_{PL} = U_{LIM} \times \sqrt{2}$)

NOTE The protective level may be expressed in terms of the actual peak voltage across a segment or in terms of the per unit of the peak of the rated voltage across the capacitor.

3.8.23**reinsertion**

restoration of load current to the series capacitor from the by-pass path

3.8.24**reinsertion current**

transient current, power-frequency current, or both, flowing through the series capacitor during the opening of the by-pass path

3.8.25**reinsertion voltage**

transient voltage, power-frequency voltage, or both, appearing across the series capacitor during the opening of the by-pass path

3.8.26**temporary overvoltage**

temporary power-frequency voltage higher than the continuous rated voltage of the series capacitor

3.8.27**varistor coordinating current**

magnitude of the maximum varistor current associated with the protective level

3.8.28**capacitor bank discharge current**

$I_{DISCHARGE}$

current which flows during the discharging of capacitor bank. The maximum peak value of the capacitor discharge current occurs when the capacitor bank is charged to the protective level

U_{PL}

3.9 Index of definitions**A**

"a" contact, make contact	3.5.112
Alternative operating mechanism	3.5.126
Ambient air temperature	3.1.104
Anti-pumping device	3.6.115
Applied voltage	3.7.113
Arcing contact	3.5.108
Arcing time	3.7.122

Arc control device	3.5.117
Auto-reopening	3.6.106
Assemblies	3.2
Auxiliary circuit	3.5.104
Auxiliary contact	3.5.110
Auxiliary switch	3.5.111

B

"b" contact, break contact	3.5.113
Bank protection	3.8.10
Break contact	3.5.113
By-pass current	3.8.11
By-pass fault current	3.8.12
By-pass gap (protective gap)	3.8.13
By-pass insertion current	3.7.107
By-passing-insertion time	3.7.129
By-pass interlocking device	3.8.14
By-pass making current	3.7.106
By-pass (or insertion) unit	3.5.121
By-pass switch	3.4.103
By-pass switch class M1	3.4.104
By-pass switch class M2	3.4.105
By-pass switch with lock-out preventing opening	3.6.117
By-pass time	3.7.125
By-passing capacity	3.7.109

C

Capacitor	3.8.1
Capacitor bank discharge current ($I_{\text{DISCHARGE}}$)	3.8.28
Clearance	3.7.117
Clearance between open contacts	3.7.120
Clearance between poles	3.7.118
Clearance to earth	3.7.119
Closed position	3.6.112
Closing operation	3.6.104
Closing time	3.7.124
Connection (bolted or the equivalent)	3.5.119
Contact	3.5.105
Contact piece	3.5.106
Control circuit	3.5.103
Control contact	3.5.109
Current-limiting damping equipment	3.8.15

D

Dead time (during auto-reclosing)	3.7.128
Dependent power operation	3.6.109
Disruptive discharge	3.1.112

E

Enclosure	3.5.123
External insulation	3.1.108

I

Impulse withstand voltage	3.7.134
Independent manual operation	3.6.111
Insertion	3.8.16
Insertion current	3.8.17
Insertion capacity	3.7.108
Insertion time	3.7.123
Insertion voltage	3.8.18
Insulation level	3.7.132

Interlocking device	3.6.116
Internal insulation	3.1.109
L	
Limiting voltage (U_{LIM})	3.8.7
M	
Main circuit	3.5.102
Main contact	3.5.107
Main gap	3.8.19
Make contact	3.5.112
Mechanical switching device	3.4.102
Minimum close duration	3.7.131
Minimum functional pressure for by-passing, insertion and insulation	3.7.136
Minimum functional pressure for operation	3.7.135
Minimum trip duration	3.7.130
Module (of a by-pass switch)	3.5.122
Module (capacitor switching step)	3.8.20
N	
Non-linear resistor (varistor)	3.8.21
Non-self-restoring insulation	3.1.111
Non-Sustained Disruptive Discharge (NSDD)	3.116
O	
Open-close time	3.7.127
Opening operation	3.6.105
Opening time	3.7.121
Open position	3.6.113
Operating cycle	3.6.102
Operating mechanism	3.5.124
Operating sequence	3.6.103
Operation	3.6.101
Outdoor switchgear and controlgear	3.1.102
Overvoltage (in a system)	3.1.106
Overvoltage protector (of a series capacitor)	3.8.2
P	
Parts of assemblies	3.3
Peak arc voltage	3.7.116
Peak current	3.7.104
~~Peak value of the transient by-pass current~~	~~3.7.106~~
Peak withstand current	3.7.112
Pole	3.5.101
Position indicating device	3.5.118
Positively driven operation	3.6.108
Positive opening operation	3.6.107
Power-frequency recovery voltage	3.7.115
Power-frequency withstand voltage	3.7.133
Power kinematic chain	3.5.124
Pre-arcing time	3.7.126
Prospective current (of a circuit and with respect to a switching device or a fuse)	3.7.102
Prospective peak current	3.7.103
Protective level U_{PL}	3.8.22
R	
Rated capacitance (of a capacitor) C_N	3.8.3
Rated current (of a capacitor) I_N	3.8.4
Rated reactance (of a capacitor) X_N	3.8.5
Rated voltage (of a capacitor) U_N	3.8.6
Rated value	3.7.101

Recovery voltage	3.7.114
Re-ignition (of an a.c. mechanical switching device)	3.1.114
Reinsertion	3.8.23
Reinsertion current	3.8.24
Reinsertion voltage	3.8.25
Release	3.5.116
Restrike (of an a.c. mechanical switching device)	3.1.115
Restrike performance	3.1.112
Rolling contact	3.5.115

S

Segment (of a series capacitor)	3.8.9
Self-restoring insulation	3.1.110
Series capacitor bank (or bank)	3.8.8
Short-circuit current	3.1.103
Short-circuit making capacity	3.7.110
Short-time withstand current	3.7.111
Shunt release	3.6.114
Sliding contact	3.5.114
Stored energy operation	3.6.110
Switchgear and controlgear	3.1.101
Switching device	3.4.101

T

Temperature rise (of a part of a by-pass switch)	3.1.105
Temporary overvoltage	3.8.26
Terminal	3.5.120
Transient by-pass current	3.7.105

U

Unit test	3.1.107
-----------	---------

V

Varistor coordinating current	3.8.27
-------------------------------	--------

4 Ratings

The characteristics of a by-pass switch, including its operating devices and auxiliary equipment, that shall be used to determine the ratings are the following.

Rated characteristics to be given for all by-pass switches

- a) rated voltage to earth and across the by-pass unit;
- b) rated insulation level to earth and across the by-pass unit;
- c) rated frequency;
- d) rated normal current;
- e) rated short-time withstand current;
- f) rated peak withstand current;
- g) rated duration of short-circuit;
- h) rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary circuits;
- i) rated supply frequency of closing and opening devices and of auxiliary circuits;
- j) rated pressures of compressed gas supply and/or of hydraulic supply for operation, insertion, by-passing and insulation, as applicable;
- k) rated by-pass making current;
- l) rated by-pass insertion current;

- m) rated reinsertion voltage (peak value);
- n) rated operating sequence;
- o) rated time quantities.

The rated characteristics of the by-pass switch are referred to the rated operating sequence.

4.1 Rated voltage (U_r)

Subclause 4.1 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

4.1.101 Rated voltage to earth (U_{re})

Subclause 4.1 of IEC 62271-1 is applicable.

4.1.102 Rated voltage across the by-pass switch (U_{rp})

The voltage applied across the by-pass switch shall be determined by multiplying the rated reactance of the series capacitor bank or segment ($X_N=1/\omega C_N$) by its rated current (I_N). The rated voltage (phase-to-phase) assigned to the by-pass switch shall be equal to or higher than the voltage calculated from the applied voltage (multiplied by $\sqrt{3}$) and adjusted to the next higher standardized value given in 4.1 of IEC 62271-1.

NOTE Long duration overloads (several minutes) may be taken into account when assigning a rated voltage across a by-pass switch.

4.2 Rated insulation level

Subclause 4.2 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

4.2.101 Rated insulation level to earth

The standard values of rated withstand voltages to earth are given in Tables 1a, 1b, 2a and 2b of IEC 62271-1.

4.2.102 Rated insulation level across the by-pass switch

The standard values of rated insulation voltages across the by-pass switch are given in Tables 1a, 1b, 2a and 2b of IEC 62271-1 for the corresponding rated voltage across the by-pass switch. The rated insulation levels shall be determined in accordance with 6.1.3 of IEC 60143-1.

NOTE The insulation levels for insulators and series capacitor equipment mounted on the supporting platform are in reference to the platform. For installations at altitudes exceeding 1 000 m, higher insulation levels may be required. The insulation level of the insulators and equipment on the platform should be selected based on the protective level established by the overvoltage protector using the equation below. The equation applies to the insulation across the entire segment using the protective level of that segment. It also applies to the insulation within the segment using the applicable protective level across that part of the segment.

$$U_{ipf} \geq 1,2 U_{PL} / \sqrt{2}$$

where

U_{ipf} is the power-frequency withstand voltage (r.m.s.);

U_{PL} is the protective level.

4.3 Rated frequency (f_r)

Subclause 4.3 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

The standard values for the rated frequency of high voltage by-pass switches are 50 Hz and 60 Hz.

4.4 Rated normal current (I_r) and temperature rise

Subclause 4.4 of IEC 62271-1 is applicable.

4.5 Rated short-time withstand current (I_k)

Subclause 4.5 of IEC 62271-1 is applicable.

4.6 Rated peak withstand current (I_p)

Subclause 4.6 of IEC 62271-1 is applicable.

4.7 Rated duration of short-circuit (t_k)

Subclause 4.7 of IEC 62271-1 is applicable.

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

Subclause 4.8 of IEC 62271-1 is generally applicable. The tolerance given in 4.8.3 and in 5.8.1 of IEC 62271-1 for shunt opening releases shall be applied to shunt closing releases.

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

Subclause 4.9 of IEC 62271-1 is applicable.

4.10 Rated pressures of compressed gas supply for insulation, operation and/or by-passing and insertion

Subclause 4.10 of IEC 62271-1 is applicable.

4.101 Rated operating sequence

The rated characteristics of the by-pass switch are referred to the rated operating sequence.

$$C - t - OC - t' - OC$$

Unless otherwise specified:

- $t = 0,3$ s for by-pass switches intended for rapid auto-reopening (by-passing-insertion time);
- $t' = 3$ min.

~~NOTE 1 – Instead of $t' = 3$ min., other values: $t' = 15$ s and $t' = 1$ min are also used for by-pass switches intended for rapid auto-reopening.~~

~~NOTE 2 – Other operating sequences may be specified depending upon system requirements. One example is $C - t - OC - t - OC - t' - OC$.~~

where

C represents a closing operation;

OC represents an opening operation followed immediately (that is, without any intentional delay) by a closing operation;

t and t' are time intervals between successive operations;

t and t' should always be expressed in minutes or in seconds.

If the by-passing-insertion time is adjustable, the limits of adjustment should be specified.

NOTE 3 1 Instead of $t = 0,3$ s, other value: $t = 0,2$ s is also used for by-pass switches intended for rapid auto-reopening.

NOTE 2 Instead of $t' = 3$ min., other values: $t' = 15$ s and $t' = 1$ min are also used for by-pass switches intended for rapid auto-reopening.

NOTE 3 Other operating sequences may be specified depending upon system requirements.

4.102 Rated by-pass making current (I_{BP})

The rated by-pass making current is the ~~peak maximum~~ value of the **by-pass making** current that the by-pass switch shall be capable of making under line fault condition when the capacitor bank is pre-charged to the limiting voltage of the overvoltage protector (U_{PL}) and with a frequency of the by-pass **discharge** current corresponding to the actual capacitance of the capacitor bank with its associated inductance of the damping circuit. The effective damping of the by-pass discharge current can be taken into consideration.

This current shall be the sum of the capacitor bank discharge current component and the power-frequency fault current component (see 3.7.106). In general, the power-frequency fault current component should be equal to the maximum varistor coordinating current.

NOTE ~~The rated by-pass making current should be determined by system studies as the sum of capacitor bank peak discharge current and the fault current peak component in the interval between current initiation in the by-pass switch and contact touch (pre-arcing time).~~ The rated by-pass making current should be determined by system studies as the maximum sum of the instantaneous capacitor bank discharge current and the instantaneous fault current component during the pre-arcing period (see also IEC 60143-2). A value of pre-arcing time of 5 ms is suggested in case no data is available.

The by-pass making performance is covered when the required peak **value of the** by-pass making current is equal to or lower than the peak current value used in the relevant type test. This rule is considered to be valid only when the frequency f_{BP} of the by-pass making current is equal to or lower than 130 % of the corresponding value used during type tests.

Specific ratings can generally not be assigned because they are specific to each project parameters. Annex D gives examples of by-pass switch ratings. Nevertheless, preferred values for the rated by-pass making current and frequency are as follows:

$$I_{BP}: 63 \text{ kA peak} - 100 \text{ kA peak and } 125 \text{ kA peak}$$

$$f_{BP}: 500 \text{ Hz and } 1\,000 \text{ Hz}$$

4.103 Rated by-pass insertion current (I_{INS})

The rated by-pass insertion current is the r.m.s value of the power-frequency current that the by-pass switch shall be capable of transferring from the by-pass circuit path to the main series capacitor path under the rated reinsertion voltage. Specific ratings cannot be assigned because they are specific to each project parameters. Annex D gives examples of by-pass switch ratings.

NOTE The rated by-pass insertion current should be taken from the R10 series and may be equal to or lower than the rated current of the capacitor bank.

4.104 Rated reinsertion voltage (U_{INS})

The rated reinsertion voltage is the peak value of the transient recovery voltage that the by-pass switch shall be capable of withstanding, without restrike, during the transfer of the rated by-pass insertion current.

In general, the transient reinsertion voltage shall be equal to U_{PL} to take into account all emergency overload conditions and power swings that could result in transient insertion voltages up to the protective level of the overvoltage protector.

Several transient reinsertion voltage waveshapes can be obtained in service. The reinsertion voltage waveshape should be determined by systems studies. For standardization purposes, and in order to cover the greatest number of practical cases, this standard recommends a "1-cos" waveshape having a preferred first time-to-peak of 5,6 ms. Other waveshapes may be required and should be clearly specified to the manufacturer at the time of enquiry.

Specific ratings cannot be assigned because they are specific to each project parameters. Annex D gives examples of by-pass switch ratings. Annex F gives more information regarding transient recovery voltage during reinsertion.

NOTE 1 No specific recommended values can be given for the transient reinsertion voltage, since this value is depending of the series capacitor design parameters (capacitive impedance, rated normal current of the capacitor bank, protective level of the overvoltage protector, overload emergency current and power swing). See Annex F for more information.

NOTE 2 To cover most of the 50 Hz and 60 Hz applications with one single test-duty, the transient recovery voltage has been defined with a time-to-peak of 5,6 ms.

4.105 Rated time quantities

Refer to Figures 1, 2, and 3.

Rated values shall be assigned to the following time quantities:

- opening time (no-load);
- maximum closing time (no-load);
- maximum open-close time (no-load).

Rated time quantities are based on

- rated supply voltages of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits (see 4.8),
- rated supply frequency of closing and opening devices and of auxiliary circuits (see 4.9),
- rated pressures of compressed gas supply for operation, for insulation and/or by-passing and insertion, as applicable (see 4.10),
- rated pressure of hydraulic supply for operation,
- an ambient air temperature of $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

NOTE 1 Usually it is not practical to assign a rated value of by-pass making time or of by-pass-insertion time due to the variation of the arcing time and the pre-arcing time.

NOTE 2 The maximum closing time (no-load) and the maximum open-close time (no-load) should also be given for the minimum supply voltages, maximum pressure of compressed gas supply for operation, for insulation and/or by-passing and insertion as applicable (see 4.10) and minimum pressure of hydraulic supply for operation.

4.106 Number of mechanical operations

A by-pass switch shall be able to perform the following number of operations (as defined in 6.101.2.3 and Table 3 for type tests) taking into account the programme of maintenance specified by the manufacturer.

Standard by-pass switch (normal mechanical endurance) class M1	2 000 operating sequences
By-pass switch for special service requirements (extended mechanical endurance) class M2	10 000 operating sequences

5 Design and construction

5.1 Requirements for liquids in by-pass switches

Subclause 5.1 of IEC 62271-1 is applicable.

5.2 Requirements for gases in by-pass switches

Subclause 5.2 of IEC 62271-1 is applicable.

5.3 Earthing of by-pass switches

Subclause 5.3 of IEC 62271-1 is applicable.

5.4 Auxiliary equipment

Subclause 5.4 of IEC 62271-1 is applicable with the following additions:

- where shunt opening and closing releases are used, appropriate measures shall be taken in order to avoid damage on the releases when permanent orders for closing or opening are applied. For example, those measures may be the use of series control contacts arranged so that when the by-pass switch is closed, the close release control contact ("b" contact or break contact) is open and the open release control contact ("a" contact or make contact) is closed, and when the by-pass switch is open, the open release control contact is open and the close release control contact is closed;

NOTE 1 Systems other than contacts are possible and may be used.

- for shunt closing releases, the protective measures for the shunt closing releases (the "b" contact) as mentioned in the first indent above shall open no sooner than the minimum close duration (3.7.131) provided by the by-pass switch and no later than the rated closing time;

NOTE 2 If the current of the shunt closing release is interrupted by the control contact, the closing command should be positively longer than the rated closing time.

- for shunt opening releases, the protecting measures for the shunt opening releases (the "a" contact) as mentioned in the first indent above shall open no sooner than the minimum trip duration (3.7.130) required by the by-pass switch and no later than 20 ms after separation of the main contacts;
- for short open-close time requirements, the protective measures for the shunt closing releases (the "b" contact) as mentioned in the first indent above, shall close no sooner than when the "a" contact has opened;
- where auxiliary switches are used as position indicators, they shall indicate the end position of the by-pass switch at rest, open or closed. The signalling shall be sustained;
- connections shall withstand the stresses imposed by the by-pass switch, especially those due to mechanical forces during operations;
- all auxiliary equipment, including the wiring, shall be adequately protected against rain and humidity;
- where special items of control equipment are used, they shall operate within the limits specified for supply voltages of auxiliary and control circuits, interrupting and/or insulating and operating fluids and be able to switch the loads which are stated by the by-pass switch manufacturer;
- special items of auxiliary equipment such as liquid indicators, pressure indicators, relief valves, filling and draining equipment, heating and interlock contacts, shall operate within the limits specified for supply voltages of auxiliary and control circuits and/or within the limits of use of interrupting and/or insulating and operating fluids;

- the power consumption of heaters at rated voltage shall be within the tolerance of $\pm 10\%$ of the value stated by the manufacturer;
- where anti-pumping devices are part of the by-pass switch control scheme, they shall act on each control circuit, if more than one is installed;
- where a control scheme of pole discrepancy is part of the by-pass switch, the position of the poles shall be supervised, open or closed. The closing of one pole shall initiate closure of the remaining poles. Each by-pass switch shall be similarly interlocked for the opening operation.

5.5 Dependent power operation

Subclause 5.5 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition:

- a by-pass switch arranged for dependent power opening with external energy supply shall also be capable of closing immediately following an opening operation.

5.6 Stored energy operation

Subclause 5.6 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition to the first paragraph.

A by-pass switch arranged for stored energy operation shall also be capable of closing immediately following an opening operation.

5.7 Independent manual operation

Subclause 5.7 of IEC 62271-1 is not applicable for by-pass switches.

5.8 Operation of releases

Subclause 5.8 of IEC 62271-1 is generally not applicable and shall be replaced by the following.

5.8.1 Shunt closing releases

A shunt closing release shall operate correctly under all operating conditions of switching device up to its rated by-pass making current, and between 70 % in case of d.c. – or 85 % in case of a.c. – and 110 % of the rated supply voltage of the closing device (see 4.8), the frequency in the case of a.c. being the rated supply frequency of the closing device (see 4.9).

5.8.2 Shunt opening releases

A shunt opening release shall operate correctly between 85 % and 110 % of the rated supply voltage of the opening device (see 4.8), the frequency in the case of a.c. being the rated supply frequency of the opening device (see 4.9).

5.8.3 Capacitor operation of shunt releases

Subclause 5.8.3 of IEC 62271-1 is applicable.

5.8.4 Under-voltage release

Subclause 5.8.4 of IEC 62271-1 is not applicable to by-pass switches.

5.8.101 Multiple releases

If a by-pass switch is fitted with more than one release for the same function, a defect in one release shall not disturb the function in the others. Releases used for the same function shall be physically separated, i.e. magnetically decoupled.

5.8.102 Operation limits of releases

For shunt-opening releases, the minimum trip duration, and for shunt-closing releases, the minimum command duration at rated supply voltage, shall not be less than 2 ms.

In order to prevent untimely operation due to parasitic voltages that may be present in control circuits, the minimum supply voltage, the minimum supply voltage for operation of shunt releases shall not be less than 20 % of the rated supply voltage.

5.8.103 Power consumption of releases

The power consumption of shunt closing or opening releases of a three-pole by-pass switch shall not exceed 1 200 VA. For certain by-pass switch designs, higher values may be necessary.

5.9 Low- and high-pressure interlocking devices

Subclause 5.9 of IEC 62271-1 is replaced by the following.

All by-pass switches having an energy storage in gas receivers or hydraulic accumulators (see 5.6.1 of IEC 62271-1) and all by-pass switches except sealed pressure devices, using compressed gas for by-passing and insertion (see 5.103) shall be fitted with a low-pressure interlocking device, and can also be fitted with a high-pressure interlocking device, set to operate at, or within, the appropriate limits of pressure stated by the manufacturer.

5.10 Nameplates

Subclause 5.10 of IEC 62271-1 is applicable with the following additions: the nameplates of a by-pass switch and its operating devices shall be marked in accordance with Table 1.

Coils of operating devices shall have a reference mark permitting the complete data to be obtained from the manufacturer.

Releases shall bear the appropriate data.

The nameplate shall be visible in the position of normal service and installation.

Table 1 – Nameplate information

	Abbre- viation	Unit	By-pass switch	Operating device	Condition: Marking only required if
1	2	3	4	5	6
Manufacturer			X	X	
Type designation and serial number			X	X	
Rated voltage to earth	U_{re}	kV	X		
Rated voltage across by-pass switch	U_{rp}	kV	X		
Rated lightning impulse withstand voltage to earth	U_{pe}	kV	X		
Rated lightning impulse withstand voltage across by-pass switch	U_{pp}	kV	X		
Rated switching impulse withstand voltage to earth	U_{se}	kV	y		Rated voltage 300 kV and above
Rated switching impulse withstand voltage across by-pass switch	U_{sp}	kV	y		Rated voltage 300 kV and above
Rated frequency	f_r	Hz	y		Rating is not applicable at both 50 Hz and 60 Hz
Rated normal current	I_r	A	X		
Rated duration of short circuit	t_k	s	y		Different from 1 s
Rated short-time withstand current	I_k	kA	X		
Rated peak withstand current	I_p	kA	X		
Rated by-pass making current	I_{BP}	kA	X		
Frequency of the rated by-pass making current	f_{BP}	Hz	X		
Rated by-pass insertion current	I_{INS}	A	X		
Rated reinsertion voltage	U_{INS}	kV	X		
Rated filling pressure for operation	P_{rm}	MPa		(X)	
Rated filling pressure for by-passing and insertion	P_{re}	MPa	(X)		
Rated supply voltage of closing and opening devices	U_{op}	V		(X)	
Rated supply frequency of closing and opening devices		Hz		(X)	
Rated supply voltage of auxiliary circuits	U_a	V		(X)	
Rated supply frequency of auxiliary circuits		Hz		(X)	
Mass (including oil for oil by-pass switches)	M	kg	y	y	More than 300 kg

Table 1 (continued)

	Abbreviation	Unit	By-pass switch	Operating device	Condition: Marking only required if
1	2	3	4	5	6
Mass of fluid for by-passing and insertion	<i>m</i>	kg	y		If gas or oil by-pass switches
Rated operating sequence			X		
Year of manufacture			X		
Temperature class			y	y	Different from –25 °C outdoor
Classification			y		Different from M1
Relevant standard with date of issue			X	X	
NOTE The abbreviations in column 2 may be used instead of the terms in column 1. When terms in column 1 are used, the word “rated” need not appear.					
X = the marking of these values is mandatory; blanks indicate the value zero;					
(X) = the marking of these values is optional;					
y = the marking of these values to the conditions in column 6.					

5.11 Interlocking devices

Subclause 5.11 of IEC 62271-1 is applicable.

See also 5.4.

5.12 Position indication

Subclause 5.12 of IEC 62271-1 is applicable.

5.13 Degrees of protection by enclosures

Subclause 5.13 of IEC 62271-1 is applicable.

5.14 Creepage distances

Subclause 5.14 of IEC 62271-1 is applicable.

5.15 Gas and vacuum tightness

Subclause 5.15 of IEC 62271-1 is applicable.

5.16 Liquid tightness

Subclause 5.16 of IEC 62271-1 is applicable.

5.17 Fire hazard (flammability)

Subclause 5.17 of IEC 62271-1 is applicable.

5.18 Electromagnetic compatibility

Subclause 5.18 of IEC 62271-1 is applicable.

5.19 X-ray emission

Subclause 5.19 of IEC 62271-1 is applicable only to vacuum interrupters used as by-pass switches.

5.20 Corrosion

Subclause 5.20 of IEC 62271-1 is applicable.

5.101 Requirements for simultaneity within a pole

If one pole consists of more than one by-pass unit connected in series, the maximum difference between the instants of contact separation or contact touch within these series connected units shall not exceed one-eighth of a cycle of rated frequency.

NOTE The time spread between poles is normally not considered unless single-pole operation of by-pass switch is restricted from system operation.

5.102 General requirement for operation

A by-pass switch, including its operating devices, shall be capable of completing its rated operating sequence (4.101) in accordance with the relevant provisions of 5.5 to 5.9 and 5.103 for the whole range of ambient temperatures within its temperature class as defined in Clause 2 of IEC 62271-1.

This requirement is not applicable to auxiliary manual operating devices; where provided, these shall be used only for maintenance and for emergency operation on a dead circuit.

By-pass switches provided with heaters shall be designed to permit a closing operation at the minimum ambient temperature defined by the temperature class when the heaters are not operational for a minimum time of 2 h.

5.103 Pressure limits of fluids for operation

The manufacturer shall state the maximum and minimum pressures of the fluid for operation at which the by-pass switch is capable of performing according to its ratings and at which the appropriate low- and high-pressure interlocking devices shall be set (see 5.9). The manufacturer shall state the minimum functional pressure for operation, by-passing and insertion (see 3.7.135 and 3.7.136).

The manufacturer may specify pressure limits at which the by-pass switch is capable for each of the following performances:

- a) making its rated by-pass making current, i.e. a "C" operation;
- b) reinserting its rated by-pass insertion current immediately followed by making its rated by-pass making current, i.e. a "OC" operating cycle;
- c) for by-pass switches intended for rapid auto-reinsertion; making its rated by-pass making current followed after a time interval t of the rated operating sequence (4.101) by reinserting its rated by-pass insertion current, immediately followed again by making its rated by-pass making current, i.e. an "C – t – OC" operating sequence.

The by-pass switches shall be provided with energy storage of sufficient capacity for satisfactory performance of the appropriate operations at the corresponding minimum pressures stated.

5.104 Vent outlets

Vent outlets are devices that allow a deliberate release of pressure in a by-pass switch during operation.

NOTE This is applicable to air-blast and oil by-pass switches.

Vent outlets of by-pass switches shall be so situated that a discharge of oil or gas or both will not cause electrical breakdown and is directed away from any location where persons may be present. The necessary safety distance shall be stated by the manufacturer.

The construction shall be such that gas cannot collect at any point where ignition can be caused, during or after operation, by sparks arising from normal operation of the by-pass switch or its auxiliary equipment.

6 Type tests

Clause 6 of IEC 62271-1 is applicable with the following additions.

The type tests for by-pass switches are listed in Table 2.

All type tests shall be carried out using the number of test samples specified in 6.1.1 of IEC 62271-1 and in 6.102.2.

For the type tests, the tolerances on test quantities are given in Annex A.

The individual type tests shall, in principle, be performed on a by-pass switch in a new and clean condition. In case of by-pass switches using SF₆ for insulation, by-passing and insertion and/or operation, the quality of the gas shall at least comply with the acceptance levels of IEC 60480.

The responsibility of the manufacturer is limited to the declared rated values and not to those values achieved during the type tests.

The uncertainty of each measurement by oscillograph or equivalent equipment (for example transient recorder), including associated equipment, of the quantities that determine the ratings (for example by-pass current, applied voltage and transient recovery voltage) shall be within $\pm 5\%$ (equal to a coverage factor of 2,0).

NOTE For the meaning of coverage factor, refer to *ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement* (1995, see Bibliography).

Table 2 – Type tests

Mandatory type tests	Subclause
Dielectric tests	6.2
Measurement of the resistance of the main circuit	6.4
Temperature-rise tests	6.5
Short-time withstand current and peak withstand current tests	6.6
Tightness tests	6.8
Additional test on auxiliary and control circuits	6.10
Mechanical operation test at ambient air temperature	6.101.2
By-pass making current tests	6.104
Insertion current tests	6.105
Mandatory type tests, where applicable	Subclause
Radio interference voltage tests	6.3
Verification of the degree of protection	6.7
EMC tests	6.9
X-radiation test procedure for vacuum interrupters	6.11
Extended mechanical endurance tests on by-pass switches for special service conditions ^a	6.101.2.4
Low and high temperature tests	6.101.3
Static terminal load tests	6.101.6
Test to prove operation under severe ice conditions ^a	6.101.5
^a Additional test sample is allowed.	

6.1 General

6.1.1 Grouping of tests

Subclause 6.1.1 of IEC 62271-1 is applicable.

6.1.2 Information for identification of specimens

Subclause 6.1.2 of IEC 62271-1 is applicable.

6.1.3 Information to be included in type test reports

Subclause 6.1.3 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

Further details relating to records and reports of type tests for by-pass current making and insertion tests are given in Annex B.

6.1.101 Invalid tests

In the case of an invalid test, it may become necessary to perform a greater number of tests than is required by this standard. An invalid test is one where one or more of the test parameters demanded by the standard is not met. This includes, for example, current, voltage and time factors as well as point-on-wave requirements (if specified) and the additional features in synthetic testing such as correct auxiliary switching device operation and correct injection time.

The deviation from the standard could make the test less or more severe. Four different cases are considered in Table 3.

The invalid part of the test-duty may be repeated without reconditioning of the by-pass switch. However, in the case of a failure of the by-pass switch during such additional tests, or at the discretion of the manufacturer, the by-pass switch may be reconditioned and the complete test-duties repeated. In those cases the test report shall include reference to the invalid test.

If any record of an individual operation cannot be produced for technical reasons, this individual operation is not considered invalid, provided that evidence can be given in another manner that the by-pass switch did not fail and the required testing values were fulfilled.

Table 3 – Invalid tests

Test conditions related to standard	By-pass switch	
	Passes	Fails
More severe	Test valid, result accepted	Test to be repeated with correct parameters Modification of the design of the by-pass switch not required
Less severe	Test to be repeated with correct parameters Modification of the design of the by-pass switch not required	By-pass switch failed the test. Modification of the design of the by-pass switch required, aiming for improvement of the performance Tests to be re-started on the modified by-pass switch

6.2 Dielectric tests

6.2.1 Ambient air conditions during tests

Subclause 6.2.1 of IEC 62271-1 is applicable.

6.2.2 Wet test procedure

Subclause 6.2.2 of IEC 62271-1 is applicable with the following note:

NOTE In the case of dead tank by-pass switches, when the bushings have been previously tested according to the relevant IEC standard, tests under wet conditions can be omitted.

6.2.3 Condition of by-pass switch during dielectric tests

Subclause 6.2.3 of IEC 62271-1 is applicable.

6.2.4 Criteria to pass the test

Subclause 6.2.4 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

The following test procedure B adapted for switching devices that have self-restoring and non-restoring insulation is the preferred test procedure for by-pass switches. The by-pass switch has passed the impulse tests if the following conditions are fulfilled:

- each series has at least 15 tests;
- no disruptive discharges on non-self restoring insulation shall occur. This is confirmed by 5 consecutive impulse withstands following the last disruptive discharge;
- the number of disruptive discharges shall not exceed two for each complete series.

This procedure leads to a maximum possible number of 25 impulses per series.

Procedure C of IEC 60060-1 may be used when all three poles are tested.

If disruptive discharges occur and evidence cannot be given during testing that the disruptive discharges were on self-restoring insulation, the by-pass switch shall be dismantled and inspected after the completion of the dielectric test series. If damage to non-self-restoring insulation is observed, the by-pass switch has failed the test.

NOTE 1 If the atmospheric correction factor K_t is less than 1,00 but greater than 0,95, it is permissible to follow the criteria stated in 6.2.4 of IEC 62271-1 if the correction factor is not applied during the tests. Then, if one or two disruptive discharges out of 15 impulses occur in the external insulation, the particular test series showing flashover(s) is repeated with the appropriate correction factor so that no external disruptive discharge occurs.

NOTE 2 For by-pass switches of gas insulated switchgear tested with test bushings which are not part of the by-pass switch, flashover across the test bushings should be disregarded.

NOTE 3 The determination of the location of the observed disruptive discharges should be done by the laboratory using sufficient detection means, for example photographs, video recordings, internal inspection, etc.

6.2.5 Application of test voltage and test conditions

Subclause 6.2.5 of IEC 62271-1 is applicable.

6.2.6 Tests of by-pass switches of $U_{re} \leq 245$ kV or $U_{rp} \leq 245$ kV

Subclause 6.2.6 of IEC 62271-1 is applicable. These test series need to be performed only for the part of the insulation which fulfils the above criteria.

6.2.6.1 Power-frequency voltage tests

Subclause 6.2.6.1 of IEC 62271-1 is applicable with the following note:

NOTE In the case of dead tank by-pass switches, when the bushings have been previously tested according to the relevant IEC standard, tests under wet conditions can be omitted.

6.2.6.2 Lightning impulse voltage test

Subclause 6.2.6.2 of IEC 62271-1 is applicable.

6.2.7 Tests of by-pass switches of $U_{re} > 245$ kV or $U_{rp} > 245$ kV

Subclause 6.2.7 of IEC 62271-1 is applicable. These test series need to be performed only for the part of the insulation which fulfils the above criteria.

6.2.7.1 Power-frequency voltage tests

Subclause 6.2.7.1 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

The test procedure following the alternative method is more severe than the test procedure following the preferred method.

6.2.7.2 Switching impulse voltage tests

Subclause 6.2.7.2 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

The dry tests shall be performed using voltage of positive polarity only. With the by-pass switch closed, the test voltage equal to the rated withstand voltage to earth, shall be applied for each test condition of Table 9 of IEC 62271-1.

With the by-pass switch open, the test voltage equal to the rated withstand voltage across the open by-pass switch shall be applied for each test condition of Table 9 of IEC 62271-1.

6.2.7.3 Lightning impulse voltage tests

Subclause 6.2.7.3 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

With the by-pass switch closed, the test voltage equal to the rated withstand voltage to earth, shall be applied for each test condition of Table 9 of IEC 62271-1.

With the by-pass switch open, the test voltage equal to the rated withstand voltage across the open by-pass switch, shall be applied for each test condition of Table 9 of IEC 62271-1.

6.2.8 Artificial pollution tests

Subclause 6.2.8 of IEC 62271-1 is applicable.

6.2.9 Partial discharge tests

Subclause 6.2.9 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

Partial discharge tests are not normally required to be performed on the complete by-pass switch. However, in the case of by-pass switches using components for which a relevant IEC standard exists, and if this relevant standard requires partial discharge measurements (for example, bushings, see IEC 60137), evidence shall be produced by the manufacturer showing that those components have passed the partial discharge tests as laid down in the relevant IEC standard.

6.2.10 Tests on auxiliary and control circuits

Subclause 6.2.10 of IEC 62271-1 is applicable.

6.2.11 Voltage test as a condition check

Subclause 6.2.11 of IEC 62271-1 does not apply and is replaced by the following procedure.

Where after mechanical or environmental tests (see 6.101.1.4) the insulating properties across open contacts of a by-pass switch cannot be verified by visual inspection with sufficient reliability, a power-frequency withstand voltage test in dry condition according to 6.2.11 of IEC 62271-1 across the open by-pass switch shall be applied as a condition check. For designs such as dead-tank or GIS by-pass switches for which the insulation to earth may be impaired, a power-frequency withstand voltage test in dry condition according to 6.2.11 of IEC 62271-1 to earth with the by-pass switch in close position shall also be performed as a condition check.

Where after by-pass and insertion tests (see 6.102.9) a voltage test is performed as a condition check, the following conditions shall apply.

For by-pass switches with an asymmetrical current path, the connections shall be reversed. The complete tests shall be carried out once for each arrangement of the connections.

These test series need to be performed only for the part of the insulation which fulfils the criteria given below.

- By-pass switches with $U_{re} \leq 72,5 \text{ kV}$ or $U_{rp} \leq 72,5 \text{ kV}$
A 1 min power-frequency voltage test shall be performed. The test voltage shall be 80 % of the value in Table 1a, column (2) of IEC 62271-1.
- By-pass switches with $72,5 \text{ kV} < U_{re} \leq 245 \text{ kV}$ or $72,5 \text{ kV} < U_{rp} \leq 245 \text{ kV}$
An impulse voltage test shall be performed. The crest value of the impulse voltage shall be 60 % of the highest relevant value in Table 1a, column (4) of IEC 62271-1.

- By-pass switches with $300 \text{ kV} \leq U_{re} \leq 420 \text{ kV}$ or $300 \text{ kV} \leq U_{rp} \leq 420 \text{ kV}$

An impulse voltage test shall be performed. The crest value of the impulse voltage shall be 80 % of the rated switching impulse withstand voltage given in Table 2a of IEC 62271-1. The rated switching impulse withstand voltage shall be taken from column (4). The reference value for the condition check shall be taken from the same column.

- By-pass switches with $550 \text{ kV} \leq U_{re} \leq 800 \text{ kV}$ or $550 \text{ kV} \leq U_{rp} \leq 800 \text{ kV}$

An impulse voltage test shall be performed. The crest value of the impulse voltage shall be 90 % of the rated switching impulse withstand voltage given in Table 2a of IEC 62271-1. The rated switching impulse withstand voltage shall be taken from column (4) of this table. The reference value for the condition check shall be taken from the same column.

Where an impulse voltage test shall be carried out, five impulses of each polarity shall be applied across the switching device and to earth (if required). The by-pass switch shall be considered to have passed the test if no disruptive discharge occurs.

For the impulse voltage test, the synthetic testing equipment of the power laboratory may be applied. The waveshape of the impulse voltage shall be either a standard switching impulse or a waveshape according to the TRV specified for terminal fault T10 (see IEC 62271-100).

For the test with the waveshape according to T10, timing tolerances of ${}_{-10}^{+200}$ % on time t_3 are permitted.

NOTE 1 Generally the insulation across the pole and to earth cannot be verified simultaneously since the insulation levels across pole are different from the insulation levels to earth. Additional condition check test may be necessary as outlined above.

NOTE 2 For live tank by-pass switches, the phase-to-earth insulation is generally not influenced by by-pass and insertion operations and the phase-to-earth voltage test as a condition check is generally not required. For dead-tank bypass switches, the phase-earth insulation may be impaired by by-pass and insertion operations and the voltage test as a condition check, if required, should also be performed phase-to earth.

NOTE 3 Comparative tests have shown that there are almost no differences in the behaviour of circuit-breakers, both in new and in worn conditions, when testing is performed with standard switching impulses or with TRV impulses with a waveshape in accordance with terminal fault T10, respectively.

NOTE 4 If the tests are performed using the TRV impulse with a T10 waveshape, equivalence is maintained to the standard switching impulse if the following rules are applied:

- the damping of the TRV should be such that the second peak of the TRV oscillation is not higher than 80 % of the first one;
- about 2,5 ms after the peak, the actual value of the recovery voltage should be in the range of 50 % of the peak value.

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

Subclause 6.3 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

Tests may be performed on one pole of the by-pass switch in the closed position only. During the tests the by-pass switch shall be equipped with all accessories such as grading capacitors, corona rings, HV connectors, etc., which may influence the radio interference voltage performance.

NOTE If the by-pass switch forms an integral part of the series capacitor platform and r.i.v. tests have been performed on the platform, the r.i.v. test on the by-pass switch is considered to be covered.

6.4 Measurement of the resistance of the main circuit

Subclause 6.4 of IEC 62271-1 is applicable.

6.5 Temperature-rise tests

6.5.1 Conditions of the by-pass switch to be tested

Subclause 6.5.1 of IEC 62271-1 is applicable.

6.5.2 Arrangement of the equipment

Subclause 6.5.2 of IEC 62271-1 is applicable.

6.5.3 Measurement of the temperature and the temperature rise

Subclause 6.5.3 of IEC 62271-1 is applicable.

6.5.4 Ambient air temperature

Subclause 6.5.4 of IEC 62271-1 is applicable.

6.5.5 Temperature-rise tests of the auxiliary and control equipment

Subclause 6.5.5 of IEC 62271-1 is applicable.

6.5.6 Interpretation of the temperature-rise tests

Subclause 6.5.6 of IEC 62271-1 is applicable.

6.6 Short-time withstand current and peak withstand current tests

Subclause 6.6 of IEC 62271-1 is applicable.

6.6.1 Arrangement of the by-pass switch and of the test circuit

Subclause 6.6.1 of IEC 62271-1 is applicable.

6.6.2 Test current and duration

Subclause 6.6.2 of IEC 62271-1 is applicable.

6.6.3 Behaviour of the by-pass switch during test

Subclause 6.6.3 of IEC 62271-1 is applicable.

6.6.4 Conditions of the by-pass switch after test

Subclause 6.6.4 of IEC 62271-1 is applicable.

6.7 Verification of the degree of protection

6.7.1 Verification of the IP coding

Subclause 6.7.1 of IEC 62271-1 is applicable to all parts of by-pass switches that are accessible in normal service.

6.7.2 Mechanical impact test (verification of the IK coding)

Subclause 6.7.2 of IEC 62271-1 is applicable.

6.8 Tightness tests

Subclause 6.8 of IEC 62271-1 is applicable.

In the case of a vacuum by-pass switch, the tightness verification of the vacuum insulation shall be carried out by means of a power frequency test according to 6.2.11 or an equivalent test.

6.9 Electromagnetic compatibility (EMC) tests

Subclause 6.9 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

6.9.2 Ripple on d.c. input power port immunity test

Subclause 6.9.2 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

If no electronic components are used in the control unit and the mechanical operation test at ambient air temperature in accordance with 6.101.2 is performed on the complete by-pass switch equipped with its entire control unit, the ripple on d.c. input power port immunity test according to subclause 6.9.2 of IEC 62271-1 is regarded as covered and additional tests shall be omitted. When testing of the complete by-pass switch is not practicable, component tests in accordance with 6.101.1.2 may be accepted.

Where electronic components are used, tests according to subclause 6.9.2 of IEC 62271-1 on the individual components are sufficient.

NOTE This subclause is applicable to both, complete electronic boards (e.g. control modules) and devices containing at least one electronic component (e.g. electronic timing relays).

6.10 Additional tests on auxiliary and control circuits

6.10.1 General

Subclause 6.10.1 of IEC 62271-1 is applicable.

6.10.2 Functional tests

Subclause 6.10.2 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

If the mechanical operation test at ambient air temperature in accordance with 6.101.2 is performed on the complete by-pass switch equipped with its entire control unit, the functional tests according to subclause 6.10.2 of IEC 62271-1 are regarded as covered and additional tests shall be omitted. When testing of the complete by-pass switch is not practicable, component tests in accordance with 6.101.1.2 may be accepted.

6.10.3 Electrical continuity of earthed metallic parts test

Subclause 6.10.3 of IEC 62271-1 is applicable.

6.10.4 Verification of the operational characteristics of auxiliary contacts

Subclause 6.10.4 of IEC 62271-1 is applicable.

6.10.5 Environmental tests

Subclause 6.10.5 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

If the mechanical operation test at ambient air temperature in accordance with 6.101.2, the low and high temperature tests in accordance with 6.101.3 and, if applicable, the humidity test

in accordance with 6.101.4 are performed on the complete by-pass switch equipped with its entire control unit or in case of the humidity test on the control equipment respectively, the environmental tests according to 6.10.5 of IEC 62271-1 is regarded as covered and additional tests can be omitted. When testing of the complete by-pass switch is not practicable, component tests in accordance with 6.101.1.2 may be accepted.

NOTE Seismic tests are not covered. If a seismic test is requested, it should be performed by agreement between manufacturer and user.

6.11 X-Radiation test procedure for vacuum interrupters

Subclause 6.11 of IEC 62271-1 is applicable.

6.101 Mechanical and environmental tests

6.101.1 Miscellaneous provisions for mechanical and environmental tests

6.101.1.1 Mechanical characteristics

At the beginning of the type tests, the mechanical characteristics of the by-pass switch shall be established, for example, by recording no-load travel curves. This may be done also by the use of characteristic parameters, for example, momentary speed at a certain stroke etc. The mechanical characteristics will serve as the reference for the purpose of characterising the mechanical behaviour of the by-pass switch. Furthermore, the mechanical characteristics shall be used to confirm that the different test samples used during the mechanical, by-passing and insertion type tests behave mechanically in a similar way. The test in which this reference is gained is referred to as reference no-load test and the curves or other parameters resulting from it as reference mechanical characteristics. The reference no-load test may be taken from any appropriate no-load test being part of an individual type test.

The following operating characteristics shall be recorded:

- mechanical characteristics for opening and closing operation;
- closing time;
- opening time.

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

The opening time and the closing time recorded in the reference no-load test shall be used as reference closing and reference opening time. The allowable deviations from these reference times correspond to the tolerances given by the manufacturer when performed under the same conditions as used for the procedure to produce the reference mechanical characteristics.

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

6.101.1.2 Component tests

When testing of a complete by-pass switch is not practicable, component tests may be accepted as type tests. The manufacturer shall determine the components that are suitable for testing.

Components are separate functional sub-assemblies that can be operated independently of the complete by-pass switch (for example, pole, by-pass unit, operating mechanism).

When component tests are made, the manufacturer shall prove that the mechanical and environmental stresses on the component during the tests are not less than those applied to the same component when the complete by-pass switch is tested. Component tests shall cover all different types of components of the complete by-pass switch, provided that the particular test is applicable to the component. The conditions for the component type tests shall be the same as those which could be employed for the complete by-pass switch.

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

6.101.1.3 Characteristics and settings of the by-pass switch to be recorded before and after the tests

Before and after the tests, the following operating characteristics or settings shall be recorded and evaluated:

- a) closing time;
- b) opening time;
- c) time spread between units of one pole;
- d) time spread between poles (if multi-pole tested);
- e) recharging time of the operating device;
- f) consumption of the control circuit;
- g) consumption of the tripping devices, possible recording of the current of the releases;
- h) duration of opening and closing command impulse;
- i) tightness, if applicable;
- j) gas densities or pressures, if applicable;
- k) resistance of the main circuit;
- l) time-travel chart;
- m) other important characteristics or settings as specified by the manufacturer.

The above operating characteristics shall be recorded at

- rated supply voltage and rated filling pressure for operation,
- maximum supply voltage and maximum filling pressure for operation,
- maximum supply voltage and minimum functional pressure for operation,
- minimum supply voltage and minimum functional pressure for operation,
- minimum supply voltage and maximum filling pressure for operation.

6.101.1.4 Condition of the by-pass switch during and after the tests

During and after the tests, the by-pass switch shall be in a condition such that it is capable of operating normally, carrying its rated normal current, by-passing its rated by-pass making current and inserting its rated insertion current and withstanding the voltage values according to its rated insulation levels.

In general, these requirements are fulfilled if

- during the tests, the by-pass switch operates on command and does not operate without command;
- after the tests, the characteristics measured according to 6.101.1.3 are within the tolerances given by the manufacturer;
- after the tests, all parts, including contacts, do not show undue wear;

- after the tests, coated contacts are such that a layer of coating material remains at the contact area. If this is not the case, the contacts shall be regarded as bare and the test requirements are fulfilled only if the temperature rise of the contacts during the temperature rise test (according to 6.5) does not exceed the value permitted for bare contacts;
- during and after the tests, any distortion of mechanical parts is not such that it adversely affects the operation of the by-pass switch or prevents the proper fitting of any replacement part;
- after the tests the insulating properties of the by-pass switch in the open position shall be in essentially the same condition as before the tests. Visual inspection of the by-pass switch after the tests is usually sufficient for verification of the insulating properties. In the case of by-pass switches with sealed-for-life by-pass units, a voltage test as a condition check in accordance with 6.2.11 may be necessary.

6.101.1.5 Condition of the auxiliary and control equipment during and after the tests

During and after the tests, the following conditions for the auxiliary and control equipment shall be fulfilled:

- during the tests, care shall be taken to prevent undue heating;
- during the tests, a set of contacts (both make and break auxiliary contacts) shall be arranged to switch the current of the circuits to be controlled (see 5.4);
- during and after the tests, the auxiliary and control equipment shall fulfil its functions;
- during and after the tests, the capability of the auxiliary circuits, the auxiliary switches and of the control equipment shall not be impaired. In case of doubt, the tests according to 6.2.10 of IEC 62271-1 shall be performed;
- during and after the tests, the contact resistance of the auxiliary switches shall not be affected adversely. The temperature rise when carrying the rated current shall not exceed the specified values (see Table 3 of IEC 62271-1).

6.101.2 Mechanical operation test at ambient air temperature

6.101.2.1 General

The mechanical operation test shall be made at the ambient air temperature of the test location. The ambient air temperature shall be recorded in the test report. Auxiliary equipment forming part of the operating devices shall be included.

The mechanical operation test shall consist of 2 000 operating sequences.

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

NOTE A by-pass switch design may be fitted with several variants of auxiliary equipment (shunt releases and motors) in order to accommodate the various rated control voltages and frequencies as stated in 4.8 and 4.9. These variants do not need to be tested if they are of similar designs and if the resulting no-load mechanical characteristics are within the tolerance given in 6.101.1.1.

6.101.2.2 Condition of the by-pass switch before the test

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

A three-pole by-pass switch actuated by a single operating device and/or with all poles mounted on a common frame shall be tested as a complete unit.

Tests shall be conducted at the rated filling pressure for by-passing and insertion according to 6.101.1.3, item j).

A three-pole by-pass switch in which each pole or even each column is actuated by a separate operating device shall be tested preferably as a complete three-pole by-pass switch. However, for convenience, or owing to limitations of the dimensions of the test bay, one single-pole unit of the by-pass switch may be tested, provided that it is equivalent to, or not in a more favourable condition than, the complete three-pole by-pass switch over the range of tests, for example in respect of

- reference mechanical travel characteristics,
- power and strength of closing and opening mechanism,
- rigidity of structure.

6.101.2.3 Description of the test on class M1 by-pass switches

The by-pass switch shall be tested in accordance with Table 4.

Table 4 – Number of operating sequences

Operating sequence	Supply voltage and operating pressure	Number of operating sequences
O – t_a – C – t_a	Minimum	500
	Rated	500
	Maximum	500
C – t – OC – t_a – O – t_a	Rated	250
O = opening; C = closing; OC = an opening operation followed immediately (i.e., without any intentional time-delay) by a closing operation; t_a = time between two operations which is necessary to restore the initial conditions and/or to prevent undue heating of parts of the by-pass switch (this time can be different according to the type of operation); t = 0,3 s for by-pass switches intended for rapid auto-reopening, if not otherwise specified.		

6.101.2.4 Extended mechanical endurance tests on class M2 by-pass switches for special service requirements (multi-segmented series capacitor banks)

For special service requirements in the case of frequently operated by-pass switches (for example in multi-segmented series capacitor banks), extended mechanical endurance tests may be carried out, as follows.

The tests shall be made according to 6.101.1, 6.101.2.1, 6.101.2.2 and 6.101.2.3 with the following addition:

- the tests shall consist of 10 000 operating sequences comprising five times the test series specified in Table 4;
- between the test series specified, some maintenance, such as lubrication and mechanical adjustment, is allowed, and shall be performed in accordance with the manufacturer's instructions. Change of contacts is not permitted;
- the programme of maintenance during the tests shall be defined by the manufacturer before the tests and recorded in the test report.

6.101.2.5 Acceptance criteria for the mechanical operation tests

The criteria given below apply for mechanical operation tests on class M1 and class M2 by-pass switches.

- a) Before and after the total test programme, the following operations shall be performed:
- five open-close operations at the rated supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits and the rated pressure for operation;
 - five open-close operations at the minimum supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits and the minimum pressure for operation;
 - five open-close operations at the maximum supply voltage of closing and opening devices and of auxiliary and control circuits and the maximum pressure for operation.

During these operations, the operating characteristics (see 6.101.1.3) shall be recorded and evaluated. It is not necessary to publish all the oscillograms recorded. However, at least one oscillogram for each set of conditions given above shall be included in the test report.

In addition, the following checks and measurements shall be performed (see 10.2.102):

- measurements of characteristic operating fluid pressures and consumption during operations, if applicable;
- verification of the rated operating sequence;
- checks of certain specific operations, if applicable.

The variation between the mean values of each parameter measured before and after the extended mechanical endurance tests shall be within the tolerances given by the manufacturer.

- b) After each series of 2 000 operating sequences, the operating characteristics a), b), c), d), e) and l) in 6.101.1.3 shall be recorded.
- c) After the total test programme, the condition of the by-pass switch shall be in accordance with 6.101.1.4.

6.101.3 Low and high temperature tests

6.101.3.1 General

The two tests need not be performed in succession, and the order in which they are made is arbitrary. For class –10 °C outdoor by-pass switches, no low temperature test is required.

For single enclosure by-pass switches or multi-enclosure by-pass switches with a common operating device, three-pole tests shall be made. For multi-enclosure by-pass switches with independent poles, testing of one complete pole is permitted.

Owing to limitations of the test facilities, multi-enclosure type by-pass switches may be tested using one or more of the following alternatives, provided that the by-pass switch, in its testing arrangement, is not in a more favourable condition than the normal condition for mechanical operation (see 6.101.2.2):

- a) reduced length of phase-to-earth insulation;
- b) reduced pole spacing;
- c) reduced number of modules.

If heat sources are required, they shall be in operation.

Liquid or gas supplies for by-pass switch operation shall be at the test air temperature unless the by-pass switch design requires a heat source for these supplies.

No maintenance, replacement of parts, lubrication or readjustment of the by-pass switch is permissible during the tests.

NOTE 1 In order to determine the material temperature characteristics, ageing, etc., tests of longer duration than those specified in the following subclauses may be necessary.

As an alternative approach to the methods given in this standard, a manufacturer may establish compliance with performance requirements for an established by-pass switch family by documenting satisfactory by-pass switch field experience in at least one location with ambient air temperatures frequently at, or above, the specified maximum ambient air temperature of 40 °C, and at least one location with satisfactory field experience in specified minimum ambient air temperature, depending on the class of by-pass switch (see Clause 2 of IEC 62271-1).

The by-pass switch has passed the test if the conditions stated in 6.101.1.4 and 6.101.1.5 are fulfilled. Furthermore, the conditions in 6.101.3.3 and 6.101.3.4 shall be fulfilled and the leakage rates recorded shall not exceed the limits given in Table 13 of IEC 62271-1. In the test report, the testing conditions and the condition of the by-pass switch before, during and after the test shall be reported. The recorded quantities shall be presented in an appropriate way and the oscillograms taken shall be shown. To reduce the number of oscillograms in the test report, it is allowed to show a single representative oscillogram of every relevant type of operation under each specified testing condition.

Vacuum by-pass switch are excluded from the tightness verification tests during the high and low temperature tests. The integrity of the vacuum shall be verified by a power frequency voltage (or equivalent) test after the high and low temperature tests. However, if the vacuum by-pass switch is used in an enclosure filled with an insulating gas, for example SF₆, the tightness verification tests during the high and low temperature tests shall also be performed on this enclosure.

NOTE 2 A by-pass switch design may be fitted with several variants of auxiliary equipment (shunt releases and motors) in order to accommodate the various rated control voltages and frequencies as stated in 4.8 and 4.9. These variants do not need to be tested if they are of similar designs and if the resulting no-load mechanical characteristics are within the tolerance given in 6.101.1.1.

6.101.3.2 Measurement of ambient air temperature

The ambient air temperature of the immediate test environment shall be measured at half the height of the by-pass switch and at a distance of 1 m from the by-pass switch.

The maximum temperature deviation over the height of the by-pass switch shall not exceed 5 K.

6.101.3.3 Low temperature test

The diagram of the test sequences and identification of the application points for the tests specified are given in Figure 4a.

If the low temperature test is performed immediately after the high temperature test, the low temperature test can proceed after completion of item u) of the high temperature test. In this case items a) and b) are omitted.

- a) The test by-pass switch shall be adjusted in accordance with the manufacturer's instructions.
- b) Characteristics and settings of the by-pass switch shall be recorded in accordance with 6.101.1.3 and at an ambient air temperature of 20 °C ± 5 °C (T_A). The tightness test (if applicable) shall be performed according to 6.8.
- c) With the by-pass switch in the open position, the air temperature shall be decreased to the appropriate, minimum ambient air temperature (T_L), according to the class of the by-

pass switch as given in 2.1.1, 2.1.2 and 2.2.3 of IEC 62271-1. The by-pass switch shall be kept in the open position for 24 h after the ambient air temperature stabilizes at T_L .

- d) During the 24 h period with the by-pass switch in the open position at temperature T_L , a tightness test shall be performed (if applicable). An increased leakage rate is acceptable, provided that it returns to the original value when the by-pass switch is restored to the ambient air temperature T_A and is thermally stable. The increased temporary leakage rate shall not exceed the permissible temporary leakage rate of Table 13 of IEC 62271-1.

NOTE 1 A tightness test is applicable if gases are used for operation, by-passing and insertion and/or insulation. In case of vacuum by-pass switch, no tightness test is required. However, if the vacuum by-pass switch is used in an enclosure filled with an insulating gas, for example SF₆, the tightness verification tests have to be performed on this enclosure.

- e) After 24 h at temperature T_L , the by-pass switch shall be closed and opened at rated values of supply voltage and operating pressure. The closing time and the opening time shall be recorded to establish low temperature operating characteristics. Contact velocity shall be recorded if feasible.
- f) The low temperature behaviour of the by-pass switch and its alarms and lock-out systems shall be verified by disconnecting the supply of all heating devices, including also the anti-condensation heating elements, for a duration t_x . During this interval, occurrence of the alarm is acceptable but lock-out is not. At the end of the interval t_x , a closing order, at rated values of supply voltage and operating pressure, shall be given. The by-pass switch shall then close. The closing time shall be recorded (and the mechanical travel characteristics measured, if feasible) to allow assessment of the by-passing capability.

The manufacturer shall state the value of t_x (not less than 2 h) up to which the by-pass switch is still operable without auxiliary power to the heaters. In the absence of such a statement, the preferred value shall be equal to 2 h.

NOTE 2 The measurement of the mechanical characteristics is feasible if a location is accessible for the travel sensor to be used.

- g) The by-pass switch shall be left in the closed position for 24 h.
- h) During the 24 h period with the by-pass switch in the closed position at temperature T_L , a tightness test shall be performed (if applicable). An increased leakage rate is acceptable, provided that it returns to the original value when the by-pass switch is restored to the ambient air temperature T_A and is thermally stable. The increased temporary leakage rate shall not exceed the permissible temporary leakage rate of Table 13 of IEC 62271-1.
- i) At the end of the 24 h period, 50 opening and 50 closing operations shall be made at rated values of supply voltage and operating pressure with the by-pass switch at temperature T_L . At least a 3 min interval shall be allowed for each cycle or sequence. The first opening and closing operation shall be recorded to establish low temperature operating characteristics. Contact velocity shall be recorded, if feasible. Following the first opening operation (O) and the first closing operation (C) three OC operating cycles (no intentional time delay) shall be performed. The additional operations shall be made by performing O – t_a – C – t_a operating sequences (t_a is defined in Table 4).
- j) After completing the 50 opening and 50 closing operations, the air temperature shall be increased to ambient air temperature T_A at a rate of change of approximately 10 K per hour.

During the temperature transition period, the by-pass switch shall be subjected to alternate O – t_a – C – t_a – O and C – t_a – O – t_a – C operating sequences at rated values of supply voltage and operating pressure. The alternate operating sequences shall be made at 30 min intervals so that the by-pass switch will be in open and closed positions for 30 min periods between the operating sequences.

- k) After the by-pass switch has stabilized thermally at ambient air temperature T_A , a re-check shall be made of the by-pass switch settings, operating characteristics and tightness as in items a) and b) for comparison with the initial characteristics.

The accumulated leakage during the complete low temperature test sequence from item b) to item j) shall not be such that lock-out pressure is reached (reaching alarm pressure is allowed).

6.101.3.4 High temperature test

The diagram of the test sequence and identification of the application points for the tests specified are given in Figure 4b.

If the high temperature test is performed immediately after the low temperature test, the high temperature test can proceed after completion of item j) of the low temperature test. In this case, items l) and m) below are omitted.

- l) The test by-pass switch shall be adjusted in accordance with the manufacturer's instructions.
- m) Characteristics and settings of the by-pass switch shall be recorded in accordance with 6.101.1.3 and at an ambient air temperature of $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ (T_A). The tightness test (if applicable) shall be performed according to 6.8.
- n) With the by-pass switch in the open position, the air temperature shall be increased to the appropriate, maximum ambient air temperature (T_H), according to the upper limit of ambient air temperature as given in 2.1.1, 2.1.2 and 2.2.3 of IEC 62271-1. The by-pass switch shall be kept in the open position for 24 h after the ambient air temperature stabilizes at T_H .

NOTE 1 The influence of solar radiation is not considered.

- o) During the 24 h period with the by-pass switch in the open position at the temperature T_H , a tightness test shall be performed (if applicable). An increased leakage rate is acceptable, provided that it returns to the original value when the by-pass switch is restored to the ambient air temperature T_A and is thermally stable. The increased temporary leakage rate shall not exceed the permissible temporary leakage rate of **Table 13 of IEC 62271-1**.

NOTE 2 A tightness test is applicable if gases are used for operation, by-passing and insertion and/or insulation. In case of vacuum by-pass switches no tightness test is required. However, if the vacuum by-pass switch is used in an enclosure filled with an insulating gas, for example SF_6 , the tightness verification tests have to be performed on this enclosure.

- p) After 24 h at the temperature T_H , the by-pass switch shall be closed and opened at rated values of supply voltage and operating pressure. The closing time and the opening time shall be recorded to establish high temperature operating characteristics. Contact velocity shall be recorded if feasible.

NOTE 3 The measurement of the mechanical characteristics is feasible if a location is accessible for the travel sensor to be used.

- q) The by-pass switch shall be closed and left closed for 24 h at the temperature T_H .
- r) During the 24 h period with the by-pass switch in the closed position at the temperature T_H , a tightness test shall be performed (if applicable). An increased leakage rate is acceptable, provided that it returns to the original value when the by-pass switch is restored to the ambient air temperature T_A and is thermally stable. The increased temporary leakage rate shall not exceed the permissible temporary leakage rate of **Table 13 of IEC 62271-1**.
- s) At the end of the 24 h period, 50 opening and 50 closing operations shall be made at rated values of supply voltage and operating pressure with the by-pass switch at the temperature T_H . An interval of at least 3 min shall be allowed for each cycle or sequence. The first opening and closing operation shall be recorded to establish high temperature operating characteristics. Contact velocity shall be recorded if feasible.

Following the first opening operation (O) and the first closing operation (C) three OC operation cycles (no intentional time delay) shall be performed. The additional operations shall be made by performing O – t_a – C – t_a operating sequences (t_a is defined in Table 4).

- t) After completing the 50 opening and 50 closing operations, the air temperature shall be decreased to ambient air temperature T_A , at a rate of change of approximately 10 K/h.

During the temperature transition period, the by-pass switch shall be subjected to alternate O – t_a – C – t_a – O and C – t_a – O – t_a – C operating sequences at rated values of supply voltage and operating pressure. The alternate operating sequences shall be

made at 30 min intervals so that the by-pass switch will be in the closed and open positions for 30 min periods between the operating sequences.

- u) After the by-pass switch has stabilized thermally at ambient air temperature T_A , a re-check shall be made of the by-pass switch settings, operating characteristics and tightness as in items l) and m) for comparison with the initial characteristics.

The accumulated leakage during the complete high temperature test sequence from item l) to item u) shall not be such that lock-out pressure is reached (reaching alarm pressure is allowed).

6.101.4 Humidity test

The humidity test does not apply to by-pass switches.

6.101.5 Test to prove the operation under severe ice conditions

The test under severe ice conditions is applicable only to by-pass switches having moving external parts and for which a class of 10 mm or 20 mm of ice thickness is specified. The test shall be performed under the conditions described in IEC 62271-102.

6.101.6 Static terminal load test

6.101.6.1 General

If the manufacturer can prove by means of calculations that the by-pass switch can withstand the specified stresses, then test needs not be performed.

The static terminal load test is performed to demonstrate that the by-pass switch operates correctly when loaded by stresses resulting from ice, wind and connected conductors.

Ice coating and wind pressure on the by-pass switch shall be in accordance with 2.1.2 of IEC 62271-1.

Some examples of forces due to flexible and tubular connected conductors (not including wind or ice load or the dynamic loads on the by-pass switch itself) are given as a guide in Table 5.

The tensile force due to the connected conductors is assumed to act at the outermost end of the by-pass switch terminal.

For simultaneous action of ice, wind and connected conductors, the resultant terminal forces, F_{sr1} , F_{sr2} , F_{sr3} and F_{sr4} respectively (see Figure 5) are defined as rated static terminal loads.

6.101.6.2 Tests

The tests should be performed at the ambient air temperature of the test room.

The tests shall be made on at least one complete pole of the by-pass switch. If the manufacturer can prove that there is no interaction between different columns in the pole, it is sufficient to test only one column. For by-pass switches that are symmetrical about the pole unit vertical centreline, only one terminal need be tested with the rated static terminal load. For by-pass switches which are not symmetrical, each terminal shall be tested.

Two testing methods are available.

- a) The tests shall be carried out with the resultant forces F_{sr1} , F_{sr2} , F_{sr3} and F_{sr4} of the 3 components: vertical, longitudinal and transversal (as defined in Figure 5). The following tests shall be performed:

– Test 1 with: $F_{sr1} = F_{th A} + F_{th B1} + F_{tv C2} + F_{wh}$

- Test 2 with: $F_{sr2} = F_{thA} + F_{thB1} + F_{tvC1} + F_{wh}$
- Test 3 with: $F_{sr3} = F_{thA} + F_{thB2} + F_{tvC2} + F_{wh}$
- Test 4 with: $F_{sr4} = F_{thA} + F_{thB2} + F_{tvC1} + F_{wh}$

For convenience of testing, the order of the individual tests is arbitrary. If the structure of the by-pass switch is symmetrical to the longitudinal axis of its by-pass (or insertion) units, either tests number 2 and 4 or tests number 1 and 3 may be omitted.

- b) As an alternative, the tests may be made separately, applying the forces subsequently as follows:
- with a horizontal force, F_{shA} , applied in longitudinal axis of the terminal (directions A_1 and A_2 in Figure 5);
 - with a horizontal force, F_{shB} , applied in two directions successively at 90° from the longitudinal axis of the terminals (directions B_1 and B_2 in Figure 5);
 - with a vertical force, F_{sv} applied in two directions successively (directions C_1 and C_2 in Figure 5).

In case of a three-pole by-pass switch with a common base frame, the middle pole should be tested.

To avoid the need to apply a special force representing the force of wind acting at the by-pass switch's centre of application of pressure, this wind load may be applied at the terminal (see Figure 5) and reduced in magnitude in proportion to the longer lever arm (the bending moment at the lowest part of the by-pass switch should be the same).

Before and after each of the individual terminal load tests two operating cycles (OC operation) shall be performed. For this purpose the by-pass switch may need to be pressurized. For safety reasons the pressure may be at any appropriate value.

The test is considered to be satisfactory if the by-pass switch operates normally when the mechanical load is applied. This is fulfilled if the travel of the contact, the opening and the closing time after the series of tests show no significant change from the values recorded before the tests; the rules given in 6.101.1.1 and Annex G shall be applied accordingly.

NOTE As the pressure in the by-pass switch for the static terminal load tests may deviate from the value prescribed for the test specified in 6.101.1.1 and in Annex G, a direct comparison of the mechanical parameters recorded during the static terminal load tests with the reference mechanical characteristics is not practicable. However, the rules given in 6.101.1.1 and Annex G may be applied in an adapted way.

After the tests, no leakage or deterioration of the seals shall be noticed.

Table 5 – Examples of static horizontal and vertical forces for static terminal load test

Rated voltage range to earth U_{re} kV	Rated current range I_r A	Static horizontal force F_{th}		Static vertical force (vertical axis-upward and downward) F_{tv} N
		Longitudinal F_{thA} N	Transversal F_{thB} N	
52 – 72,5	800 – 1 250	500	400	500
52 – 72,5	1 600 – 2 500	750	500	750
100 – 170	1 250 – 2 000	1 000	750	750
100 – 170	2 500 – 4 000	1 250	750	1 000
245 – 362	1 600 – 4 000	1 250	1 000	1 250
420 – 800	2 000 – 4 000	1 750	1 250	1 500

6.102 Miscellaneous provisions for by-pass making and insertion tests

The following subclauses are applicable to all by-pass making and insertion tests.

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

- minimum conditions of the operating mechanism guaranteeing the rated operating sequence (for example the minimum functional pressure for operation in case of a hydraulic operating mechanism),
- minimum conditions of the by-pass (or insertion) unit guaranteeing the rated operating sequence (for example the minimum functional pressure for by-passing and insertion in case of a gas by-pass switch).

6.102.1 General

By-pass switches shall be capable of by-passing all currents up to and including the rated by-pass making current. In addition, by-pass switches shall be capable of inserting all currents up to and including the rated by-pass insertion current.

This is demonstrated when the by-pass switch is subjected to the particular by-pass making current and insertion current tests outlined in this standard.

By-pass making current and insertion current tests are normally performed in single-phase on a complete pole, see also 6.102.4.1.

The by-pass making current test is normally performed with a single power source (pre-charged capacitor bank) while the insertion current test may be performed with several sources where all of the current, or a major part of it, is obtained from one source and the recovery voltage is obtained only, or in part, from a separate source (synthetic tests).

During testing of a metal enclosed by-pass switch, the insulation to earth is not stressed with the full voltage phase-to-earth voltage occurring during a by-pass or insertion operation. It may be necessary to prove that the insulation to earth is capable of withstanding this full voltage after the required test duties. The influence of exhaust gases shall also be taken into account.

NOTE Where the by-pass switch consists of three poles in one enclosure, the test procedure should be modified as suggested in IEC 62271-100 and IEC 62271-101 for capacitive current switching tests.

If, due to limitations of the testing facilities, the overall performance of the by-pass switch cannot be proved in the above way, several methods employing either direct or synthetic test methods may be used either singly or in combination, unit testing, depending on the by-pass switch type.

6.102.2 Number of test specimens

Subclause 6.1.1 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

For the performance of by-pass making current and insertion current tests, a unique test specimen shall be used without any maintenance permitted between the test duties.

6.102.3 Arrangement of by-pass switch for tests

6.102.3.1 General

The by-pass switch under test shall be mounted on its own support or on an equivalent support. A by-pass switch supplied as an integral part of an enclosed unit shall be assembled on its own supporting structure and enclosure, complete with any disconnecting features, with

vent outlets forming part of the unit and, where practicable, with main connections and busbars.

To facilitate consistent control of the closing and opening operation, the closing and/or opening releases can be supplied at their maximum supply voltage, provided that the contact speed is not affected.

If the contact speed is dependent on the supply voltage, the operating device shall be operated in the manner specified and in particular, if it is electrically or spring operated, closing solenoid or shunt-closing releases and shunt opening releases shall be supplied at their respective minimum voltages guaranteeing successful operation (85 % of the rated voltage if a.c. 70 % if d.c. of the rated voltage for the closing solenoid or shunt closing releases, 85 % of the rated voltage for the opening releases).

When it is required that pneumatically or hydraulically operated devices be operated at the minimum functional pressure for operation the following procedure applies. This procedure is based on the fact that the by-pass making and insertion test duties call for separate C and O operations:

- a) before performing by-pass making current and insertion current tests and starting from the minimum functional pressure for operation as per 3.7.135, all the pressures during the rated operating sequence carried out at no-load shall be recorded;
- b) the recorded values shall be compared with the minimum values declared by the manufacturer as guaranteeing successful operations as separate C and O;
- c) when required, tests shall be carried out at the pressure for operation set at the minimum functional value resulting from a) and b) above, whatever is the lower, for the corresponding operation in the test-duty; the pressure values shall be reported in the test report.

Interlocking devices associated with pressure interlocks shall be made inoperative during the tests, if they interfere with the intent of the test.

It shall be shown that the by-pass switch will operate satisfactorily under the above conditions at no-load as specified in 6.102.6. When required, the pressure of the compressed gas for by-passing, insertion and/or insulation, if any, shall be set at its minimum functional value according to 3.7.136.

The by-pass switch shall be tested according to its type as specified in 6.102.3.2 and 6.102.3.3.

6.102.3.2 Common enclosure type

Generally not applicable for by-pass switches, see note of 6.102.1.

6.102.3.3 Multi-enclosure type

A three-pole, by-pass switch consisting of three independent single-pole switching devices is normally tested single-phase according to 6.102.4.1. The manufacturer shall give testing evidence to show compliance with 5.101.

A three-pole by-pass switch not having completely independent switching devices shall also be tested single-phase. However, the mechanical and electrical conditions applied during the tests shall be equivalent to, or not in a more favourable condition than, the complete three-pole by-pass switch over the range of tests in respect of

- mechanical travel characteristics in a by-pass making current operation (for the evaluation method, see 6.102.4 and 6.102.7),

- mechanical travel characteristics in an insertion current operation (for the evaluation method, see 6.102.4 and 6.102.7),
- availability of arc-extinguishing medium,
- power and strength of closing and opening devices,
- rigidity of structure.

If these conditions cannot be fulfilled, the manufacturer and user shall agree upon a suitable test procedure.

6.102.4 General considerations concerning testing methods

6.102.4.1 Single-phase testing of a single pole of a three-pole by-pass switch

According to this method, a single pole of a three-pole by-pass switch is tested single-phase, applying to the pole the same test currents and the same voltage that would be impressed upon the most highly stressed pole during three-phase by-pass making current and insertion current tests by the complete three-pole by-pass switch under corresponding conditions.

A three-pole operated by-pass switch can be tested single-pole provided that a three-pole assembly is provided for the tests.

6.102.4.2 Unit testing

Certain by-pass switches are constructed by assembling identical by-pass and/or insertion units in series, the voltage distribution between the units of each pole often being improved by the use of parallel impedances.

This type of design enables the by-pass making and insertion performance of a by-pass switch to be tested by carrying out tests on one or more units. The requirements of 6.101.1.1, 6.102.3 and 6.102.4.1 also apply for unit testing. Since therefore at least a complete pole assembly has to be made available for the verification tests on one or more units, the test results relate only to this specific pole design.

The following situations can be distinguished.

- a) The by-pass switch pole consists of units (or assemblies of units) which are separately operated and which have no mutual connections for the arc extinguishing medium.

In this case, unit testing is acceptable. However, the mutual influence through the electrodynamic forces of the current on the units and the arc in the units shall be taken into account (see Figure 11). This may be done by substitution of the second unit by a conductor with equivalent shape.

- b) The by-pass switch pole consists of units (or assemblies of units) which are separately operated but which have a mutual connection for the arc extinguishing medium.

In this case, unit testing is acceptable and the influence of electrodynamic forces (see also item a) above) shall be covered.

- c) The by-pass switch pole consists of units (or assemblies of units) which are not separately operated.

In this case, unit testing is acceptable for the insertion current test-duty only. Moreover, the influence of electrodynamic forces (see also item a) above) shall be covered.

The by-pass making current test-duty is generally performed on a full pole. Nevertheless, because of test plant limitations, unit testing can be also acceptable if it is demonstrated that this is not influencing the contact travel characteristics as stated in 6.101.1.1.

NOTE The demonstration method should be agreed upon user and manufacturer.

The mechanical no-load travel characteristics for single-unit testing and for full-pole testing shall be the same.

When carrying out unit tests, it is essential that the units are identical and that the static voltage distribution for the type of test is known.

6.102.4.2.1 Identical nature of the units

The units of the by-pass switch shall be identical in their shape, in their dimensions and in their operating conditions; only the devices for controlling the voltage distribution among units may be different. In particular, the following conditions shall be fulfilled.

a) Operation of contacts

The opening, in insertion current tests, or the closing, in by-pass making current tests, of the contacts of one pole shall be such that the time interval between the opening or closing of the contacts of the unit which is first to operate and the contacts of the unit which is last to operate is not more than one-eighth of a cycle of rated frequency. Rated operating pressures and voltages shall be used to determine this time interval.

b) Supply of the arc-extinguishing medium

For a by-pass switch using a supply of arc-extinguishing medium from a source external to the units, the supply to each unit shall, be independent of the supply to the other units, and the arrangement of the supply pipes shall be such as to ensure that all units are fed essentially together and in an identical manner.

6.102.4.2.2 Voltage distribution

The test voltage is determined by analysing the voltage distribution between the units of the pole.

The voltage distribution between units of a pole, as affected by the influence of earth, shall be determined for the relevant test conditions.

Where the units are not symmetrically arranged, the voltage distribution shall be determined also with reverse connections.

The voltage distribution is determined either by measurement or by calculations. Values used in the calculations shall be supported by measurements of the stray capacitances of the by-pass switch. Such calculations and supporting measurements verifying the assumptions used in the calculations are the responsibility of the manufacturer.

The voltage distribution may be calculated or measured at power frequency only.

The manufacturing tolerances for resistors and capacitors shall be taken into account. The manufacturer shall state the value of these tolerances.

NOTE The influence of pollution is not considered in determining voltage distribution. In some cases, pollution may affect this voltage distribution.

6.102.4.2.3 Requirements for unit testing

When testing a single unit, the test voltage shall be the voltage of the most highly stressed unit of the complete pole of the by-pass switch, determined in accordance with 6.102.4.2.2.

When testing a group of units, the voltage appearing at the terminals of the most highly stressed unit of the group shall be equal to the voltage of the most highly stressed unit of the pole, both determined in accordance with 6.102.4.2.2.

6.102.4.3 Multi-part testing

Multi-part testing is not applicable to by-pass switches.

6.102.5 Synthetic tests

Synthetic testing methods can be applied for insertion current tests. Synthetic testing techniques and methods proposed for capacitive current switching as described in IEC 62271-101 can be used as a reference.

6.102.6 No-load operations before tests

Before commencing by-pass making current and insertion current tests, no-load operations and no-load operating sequences (C, OC and C – t – OC) shall be made and details of the operating characteristics of the by-pass switch recorded. Details such as closing time and opening time shall be recorded.

In addition, it shall be demonstrated that the mechanical behaviour of the by-pass switch, or sample under test, conforms to that of the reference mechanical travel characteristics required in 6.101.1.1. For this test the operational conditions stated in 6.101.1.1 apply.

The pressure of the fluid for by-passing and insertion shall be set at its minimum functional value according to 3.7.136.

For electrically or spring-operated by-pass switches, operations shall be made with the closing solenoid or shunt-closing releases energized at 100 % and 85 % in the case of a.c. or 70 % in the case of d.c. of the rated supply voltage of the closing device and with the shunt-opening release(s) energized at 100 % and 85 % of the rated supply voltage.

For pneumatic or hydraulic operating devices, the operations shall be made under the following conditions:

- a) pressure of the fluid for operation set at its minimum functional value as per 3.7.135 with the shunt opening releases energized at 85 % and with the shunt closing releases energized at 85 % in case of a.c., 70 % in case of d.c. of the rated supply voltage.
- b) pressure of the fluid for operation set at its rated value as per 4.10 with the shunt releases energized at the rated supply voltage.

6.102.7 Alternative operating mechanisms

If it can be shown that the use of an alternative operating mechanism (see 3.5.126) does not affect the performance of the common portion, particularly with regard to the closing and opening characteristics of the by-pass switch, a repetition of the type tests under by-pass making and insertion test duties is not necessary.

NOTE 1 In this subclause it is considered that one version of the by-pass switch using a certain operating mechanism, is completely type-tested in accordance with this standard; this version is referred to as the completely tested by-pass switch. The other versions, differing only in the operating mechanisms (see definition in 3.5.124) are referred to as by-pass switch with alternative operating mechanisms.

The tests to be performed are limited to the following.

- a) On each of the by-pass switches (the completely tested by-pass switch and the by-pass switches with alternative operating mechanisms), the mechanical characteristics shall be recorded at no-load (single O and single C operations) and compared in accordance with 6.101.1.1 (the use of mechanical characteristics and related requirements are described in Annex G).
- b) On each of the by-pass switches (the completely tested by-pass switch and the by-pass switches with alternative operating mechanisms) a by-pass making current operation shall

be performed. The test results shall be evaluated according to the method prescribed under a) above.

If requirements a) or b) or both of them are not met, then the new mechanism is not considered to be an alternative operating mechanism.

NOTE 2 If the above given requirements are met, the reference mechanical characteristics of the completely tested by-pass switch should apply also for the by-pass switches with alternative operating mechanisms.

6.102.8 Behaviour of by-pass switch during tests

During by-pass and insertion tests, the by-pass switch shall not

- show signs of distress,
- show harmful interaction with adjacent laboratory equipment,
- exhibit behaviour which could endanger an operator.

For by-pass switches which are designed to have discharge of interrupting medium into the atmosphere during the by-passing and insertion tests, the above requirements are considered to have been met, provided that

- for oil by-pass switches, there is no outward emission of flame, and the gases produced, together with the oil carried with the gases, shall be conducted away from the by-pass switch and directed away from all live conductors and locations where persons may be present,
- for other types of by-pass switches, such as air blast or air break, there is an outward emission of flame, gas and/or metallic particles. If such emissions are appreciable, it may be required that the tests shall be made with metallic screens placed in the vicinity of the live parts and separated from them by a safety clearance distance which the manufacturer shall specify. The screens shall be insulated from earth but connected thereto by a suitable device to indicate any significant leakage current to earth. There shall be no indication of significant leakage currents to the by-pass switch earthed structure, or screens when fitted, during the tests.

NOTE 1 If no other devices are available, the earthed parts, etc. should be connected to earth through a fuse consisting of a copper wire of 0,1 mm diameter and 5 cm long. No significant leakage is assumed to have occurred if this fuse wire is intact after the test.

If faults occur which are not persistent or due to defect in design, but rather are due to errors in assembly, the faults can be rectified and the by-pass switch subjected to a repetition of all test duties. In those cases, the test report shall include reference to the invalid tests.

For by-switch comprising vacuum interrupters, NSDDs may occur during the recovery voltage period following an insertion operation. However, their occurrence is not a sign of distress of the by-pass switch under test. Therefore, their number is of no significance to interpreting the performance of the device under test. They shall be reported in the test report in order to differentiate them from restrikes.

NOTE 2 It is not the intent to require the installation of special measuring circuits to detect NSDDs. They should only be reported when seen on an oscillogram.

6.102.9 Condition of by-pass switch after tests

6.102.9.1 General

The by-pass switch shall be inspected after completion of all test duties. Its mechanical parts and insulators shall be in essentially the same condition as before the test duties. Visual inspection is usually sufficient for verification of the insulating properties. In case of doubt, the condition checking test according to 6.2.11 is sufficient to prove the insulation properties.

For by-pass switches with sealed-for-life units, the condition checking test is mandatory, except as stated in 6.102.9.2.

6.102.9.2 Condition after the by-pass current making and insertion test duties

The by-pass switch shall, after performing the by-pass making current and insertion current test duties specified in 6.104 and 6.105, be capable of operating satisfactorily at any by-pass making current and insertion current up to its rated by-pass making current and insertion current.

In addition, the by-pass switch shall be capable of carrying its rated normal current with a temperature rise not in excess of the temperature rise permitted by Table 3 of IEC 62271-1.

For other than sealed for life by-pass and insertion units, visual inspection is usually sufficient for verification of the capability of the by-pass switch to carry the rated normal current and to by-pass and insert at any current up to its rated by-pass making current and insertion current.

There shall be no evidence of puncture, flashover or tracking of the internal insulating materials, except that moderate wear of the parts of arc control devices exposed to the arc is permissible.

Degradation of the components in the current carrying path shall not reduce the integrity of the normal current carrying path.

If, during the insertion current tests, one restrike occurred, the dielectric condition checking test according to 6.2.11 shall be performed before visual inspection, provided that the tested peak transient recovery voltage during the insertion current tests is lower than the peak voltage of the specified dielectric condition checking test. The subsequent visual inspection shall demonstrate that the restrike occurred between the arcing contacts only. There shall be no evidence of puncture, flashover or permanent tracking of internal insulating materials. Wear of the parts of arc control devices exposed to the arc is permissible as long as it does not impair the by-pass making and insertion capability. Moreover, the inspection of the insulating gap between the main contacts, if they are different from the arcing contacts, shall not show any trace of a restrike.

If no restrike occurred during the insertion current tests visual inspection is sufficient. The dielectric condition checking test according to 6.2.11 is not necessary.

For by-pass switches with sealed-for-life by-pass units, the dielectric condition checking test according to 6.2.11 shall be performed, whether a restrike occurs during testing or not, provided that the tested peak transient recovery voltage during the insertion current tests is lower than the peak voltage of the specified dielectric condition checking test.

6.102.9.3 Reconditioning after a test-duty

The by-pass switch shall not be reconditioned during and between the by-pass making current and insertion current test duties.

If local safety rules require depressurising to enter the test cell, it is allowed to decrease the pressure in the by-pass switch provided that the gas is reused when refilling the by-pass switch.

NOTE When refilling is necessary, the used gas can not be reused totally due to vacuum pump limitations. For such cases, new gas can be used for topping up and the quantity of new gas should not exceed 10 % of the total gas quantity.

6.103 Sequence of the tests

The by-pass making current test-duty and the insertion current test-duty shall be performed in the following order:

- a) half of the required making operations at minimum functional pressures for operation and/or by-passing, insertion and insulation;
These making operations are including two of the making operations at rated by-pass making current and 10 making operations at capacitor bank discharge current.
- b) half of the required insertion operations at minimum functional pressures for operation and/or by-passing, insertion and insulation;
- c) half of the required making operations at rated functional pressures for operation and/or by-passing, insertion and insulation;
These making operations include two of the making operations at rated by-pass making current and 10 making operations at capacitor bank discharge current.
- d) half of the required insertion operations at rated functional pressures for operation and/or by-passing, insertion and insulation.

Maintenance is not permitted between the test duties.

If the by-pass switch has a non-symmetrical current path, the terminal connections shall be reversed for half of the number of required operations. This reversal should be carried out between the test series required at minimum functional pressures and the test series required at rated functional pressures (between test series b) and c) above).

NOTE 1 It is also acceptable to perform the tests in the order a), c), b), d). This procedure requires more gas treatment operations and more terminal reversals. This should not be done without the consent of the manufacturer.

NOTE 2 It is also acceptable to perform all tests at minimum functional pressures for operation and/or by-passing, insertion and insulation. This should not be done without the consent of the manufacturer.

6.104 By-pass making current test-duty

6.104.1 General

This test-duty is valid for both rated frequencies, i.e. for 50 Hz or 60 Hz systems.

6.104.2 Characteristics of supply circuit

It is recommended to use an oscillatory circuit (LC circuit, see Figures 12 and 13). The test circuit shall fulfil the following requirements.

- a) The characteristics of the test circuit shall be such that the instantaneous applied voltage, just before the making operation, be equal to the limiting peak voltage of the overvoltage protector (U_{PL}). A d.c. voltage can be applied.
- b) The components of the oscillatory circuit (series inductance and precharged capacitor bank) shall be selected in order to obtain the required by-pass current (first peak, I_{BP}) at the frequency of the by-pass making current (f_{BP}).

NOTE 1 The by-pass making performance is to be covered when the required peak by-pass making current is equal to or lower than the actual value used in the test-duty. This equivalency rule is considered to be valid only when the frequency of the by-pass making current f_{BP} is equal to or lower than 130 % of the value used during type tests.

- c) The damping ratio of the by-pass current (sinusoidal exponential decaying current) may be adjusted to the service condition damping ratio by inserting an additional resistor in the oscillatory circuit. The damping ratio is defined as the ratio between the second peak and the first peak of the same polarity of the by-pass discharge current.

The damping ratio obtained during tests shall be indicated in the test report.

In order to be a valid test-duty for a specific series capacitor installation, the damping ratio obtained during tests shall be equal to or higher than the actual damping ratio at site.

NOTE 2 A test performed without intentional damping automatically covers applications where a damping resistor is used and when the condition given in Note 1 above and in 4.102 are covered. Specific damping ratings can generally not be assigned because they are specific to each project parameters. Annex D gives examples of by-pass switch ratings.

NOTE 3 A deficiency to meet the damping ratio can be compensated by a higher by-pass making test current, provided that the arc energy during the pre-arcing period is equal to or higher than the pre-arcing energy required by the applicable test parameters.

6.104.3 Test voltage

The instantaneous test voltage to be applied across the by-pass switch, prior to the by-pass making tests, shall be the limiting peak voltage of the overvoltage protector (U_{PL} ; $+5_0$ %).

6.104.4 Test current

For four making operations, the first peak of the test current shall be the rated by-pass making current I_{BP} at the frequency of the by-pass making current f_{BP} . The tolerance on the by-pass making current shall be within ($+5_0$ %) of the by-pass making current I_{BP} . The effective damping of the making current component should be taken into consideration.

NOTE 1 If because of laboratory limitations, the rated peak by-pass making current cannot be obtained, then it is permissible to perform the test differently. For such cases, the frequency f_{BP} should be as close as possible to the rated value. Deviations from rated values may affect the applicability range (see 4.102).

For the remaining 20 making operations, the first peak of the test current shall be limited to the capacitor bank discharge current $I_{DISCHARGE}$ (without considering the power-frequency fault current component) when the bank is precharged to the limiting voltage of the overvoltage protector (U_{PL}) ($+5_0$ %) at by-pass making frequency f_{BP} . The effective damping of the capacitor bank discharge current should also be taken into consideration.

NOTE 2 If because of laboratory limitations, the capacitor bank discharge current at by-pass making current frequency cannot be obtained, then it is permissible to perform the test differently. For such cases f_{BP} should be as close as possible to the rated value. Deviations from rated values may affect the applicability range (see 4.102).

NOTE 3 If, because of laboratory limitations, the rated peak by-pass making current and/or the capacitor bank discharge current at by-pass making current frequency cannot be obtained, then it is permissible to perform the test series with test currents higher than the tolerance stated above. This should not be performed without the consent of the manufacturer.

6.104.5 Number of making operations

~~The by-pass making current test-duty comprises four making operations (4 C) at rated by-pass making current plus 20 making operations at the capacitor bank discharge current component (20 C).~~

The by-pass making current test can be performed using one of the two alternatives given in Table 7.

The by-pass switch conditions shall be in accordance with 6.102.3.1.

~~NOTE As an alternative, the complete test-duty can be limited to 20 making operations at the by-pass making current (discharge current component plus power-frequency fault current component). This alternative should not be performed without the consent of the manufacturer.~~

Table 7 – Test procedures for by-pass making current tests

Alternative	No. of making operations	Test current
Alternative 1	20	I_{BP}
Alternative 2	4	I_{BP}
	20	$I_{DISCHARGE}$

6.105 Insertion current test-duty

6.105.1 General

Re-ignitions during the insertion current test-duty are permitted but restrikes are not permitted unless otherwise indicated (a low expected probability of restrike is required).

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

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

NOTE 3 Since the quantity of energy trapped in the capacitor bank used during tests is generally much lower than the energy trapped in the service series capacitor bank, it is important to have a low probability of restrike to limit possible damages to the internal components of by-pass units.

Several transient reinsertion voltage waveshapes can be obtained in service. The reinsertion voltage waveshape should be determined by systems studies. For standardization purposes, in order to cover most of practical cases, this standard recommends a "1-cos" waveshape having a preferred first time-to-peak of 5,6 ms to cover 50 Hz and 60 Hz applications with one single test-duty. Other waveshapes may be required and should be clearly specified to the manufacturer at the time of enquiry. The tolerance on the time-to-peak of the transient recovery voltage shall be $\pm 5\%$.

NOTE 4 For by-pass switches exclusively rated for 50 Hz systems, the transient recovery voltage time-to-peak may be increased to 6,7 ms.

The border delimiting a re-ignition and a restrike shall be set to half of the time to peak of the transient recovery voltage.

NOTE 5 The border delimiting re-ignition and restrike has been set to half of the time-to-peak of the transient recovery voltage for limiting the amount of energy released during restrike which may affect internal components of the by-pass switch as well as other equipment on the series capacitor platform.

The test circuit branch supplying the power-frequency test current shall have a frequency ranging from 49 Hz to 61 Hz.

NOTE 6 Tests performed with a current source frequency ranging from 49 Hz to 61 Hz are considered to prove the insertion capability for both system frequencies i.e. 50 Hz or 60 Hz.

6.105.2 Characteristics of supply circuit

An oscillatory circuit (double frequency LC circuit, see Figures 14 and 15) with one oscillatory circuit branch feeding the power-frequency current and another circuit branch producing the transient recovery voltage is suggested. Other test circuits as proposed by IEC 62271-101 for synthetic capacitive current switching tests may also be used. Other examples of synthetic and direct test circuits are shown in Figures 16, 17, 18 and 19. The test circuit shall fulfil the following requirements.

- The characteristics of the test circuit current branch shall be such that the instantaneous peak current, just before interruption, is the peak value of the rated insertion current. The current circuit shall produce, as nearly as possible, a sinusoidal current waveshape (with the proposed synthetic test circuit, it will be a sinusoidal exponential decaying current).

This condition is considered to be met if the ratio of the r.m.s. value to the r.m.s. value of the fundamental component does not exceed 1,2.

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

- b) Unless otherwise specified, the characteristics of the test circuit voltage branch should be such that a transient recovery voltage having "1-cos" waveshape is generated across the by-pass switch terminals. The time-to-peak of the voltage waveshape should be 5,6 ms unless otherwise specified. The initial voltage jump that can appear at the beginning of the "1-cos" waveshape should be as small as possible and should never exceed 5 % of the transient recovery voltage peak.

6.105.3 Test voltage

The transient recovery voltage peak to be applied across the by-pass switch shall be the limiting peak voltage of the overvoltage protector (U_{PL} ; $^{+5}_0$ %).

6.105.4 Test current

The test current shall be the rated by-pass insertion current (± 20 %).

6.105.5 Number of operations

The insertion current test-duty comprises a total of two test duties of 24 opening operations (2×24 O).

The opening operations should be performed in the following manner:

- O operations for finding the minimum arcing time on one polarity (step: 6°);
- additional operations to achieve a total of 6 O at minimum arcing on one polarity;
- O operations for finding the minimum arcing time on the other polarity (step: 6°);
- additional operations to achieve a total of 6 O at minimum arcing on the other polarity;
- additional tests to achieve 24 O, distributed in both polarities (step: 30°)
- reversal of the connections for the second set if the current path is not symmetrical;
- O operations for finding the minimum arcing time on one polarity (step: 6°);
- additional operations to achieve a total of 6 O at minimum arcing on one polarity;
- O operations for finding the minimum arcing time on the other polarity (step: 6°);
- additional operations to achieve a total of 6 O at minimum arcing on the other polarity;
- additional tests to achieve 24 O, distributed in both polarities (step: 30°).

NOTE 1 It is understood that to comply with this requirement, a search for the minimum arcing time should be done before doing the required tests with minimum arcing time. These test shots are included in the total of 24 O for each individual set.

NOTE 2 It is understood that when following this procedure, the number of shots distributed at 30° steps at each polarity may not be equal. This is acceptable.

The minimum arcing time shall be determined by changing the setting of the contact separation on opening by periods of approximately 6°. Using this method, several tests may be necessary to demonstrate the minimum arcing time.

NOTE 3 In order to obtain more consistent opening time of the by-pass switch, by agreement of the manufacturer, voltages even higher than the relevant upper tolerance limit of the supply voltages of the operating devices may be applied during these tests.

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

- advance the setting of the control of the tripping impulse by 6° and repeat the test. The new setting should be kept for other tests at minimum arcing time. If with this new setting, another maximum arcing time is obtained instead of an expected minimum arcing time, the setting shall be further advanced by a step of 6° and this procedure repeated until a minimum arcing time is achieved;
- make one less opening operation for each of the above operations resulting in a maximum arcing time to retain the overall total count of tests.

NOTE 4 For relatively high rated insertion current, it may appear that two minimum arcing times are found, one in the thermal reignition zone (typically around 1 ms before current zero) and one in the dielectric reignition zone (typically less than 0,5 ms before current zero). In order to have a consistent test procedure, the minimum arcing time search should start from a contact separation point as close as possible to current zero.

The number of operations at minimum arcing time as stated above shall be achieved, even if the specified total number of operations is exceeded.

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

The by-pass switch conditions shall be in accordance with 6.102.3.1. If the by-pass switch has a non-symmetrical current path, the terminal connections shall be reversed for the second test-duty as shown above.

6.106 Criteria to pass the test duties

The by-pass switches shall have successfully passed the tests if the following conditions are fulfilled:

- a) the behaviour of the by-pass switch during by-pass making current and insertion current test duties fulfils the conditions given in 6.102.8;
- b) either no restrikes occurred during the insertion current test-duty, or, if only one restrike occurs in one of the two sets, then the set shall be completed and repeated on the same test sample without any maintenance. No restrike shall occur during the further tests. External flashover and phase-to-ground flashover shall not occur;
- c) the condition of the by-pass switch after the test series corresponds to the conditions given in 6.102.9.2. If no restrike occurred during the insertion test-duty, visual inspection is sufficient.

7 Routine tests

Clause 7 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

7.1 Dielectric test on the main circuit

Subclause 7.1 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

In the case of by-pass switches constructed by assembling identical by-pass units in series, the test voltage to be applied across each single unit, when open, shall be the higher fraction of the total withstand voltage resulting from actual power-frequency voltage distribution with the by-pass switch fully open and one terminal earthed.

With reference to Figure 2 of IEC 62271-1, which shows a diagram of a three-pole operated by-pass switch, the test voltage shall be applied, according to Table 6 below. For single pole operated by-pass switches, the required tests are limited to two tests, one with the by-pass

switch in the closed position and one with the by-pass switch in the open position. The required test levels for both positions may be different.

Table 6 – Application of voltage for dielectric test on the main circuit

Test condition No.	By-pass switch	Voltage applied to	Earth connected to
1	Closed	AaCc	BbF
2	Closed	Bb	AaCcF
3	Open	ABC	abcF

NOTE If the insulation between poles is air at atmospheric pressure, test conditions nos. 1 and 2 may be combined, the test voltage being applied between all parts of the main circuit, connected together, and the base.

7.2 Dielectric test on auxiliary and control circuits

Subclause 7.2 of IEC 62271-1 is applicable.

7.3 Measurement of the resistance of the main circuit

Subclause 7.3 of IEC 62271-1 is applicable.

7.4 Tightness test

Subclause 7.4 of IEC 62271-1 is applicable.

7.5 Design and visual checks

Subclause 7.5 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

The by-pass switch shall be checked to verify its compliance with the order specification.

The following items shall be checked as applicable:

- the language and data on the nameplates;
- identification of any auxiliary equipment;
- the colour and quality of paint and corrosion protection of metallic surfaces;
- the values of the resistors and capacitors connected to the main circuit.

7.101 Mechanical operating tests

Mechanical operating tests shall include the following:

- a) at maximum supply voltage of operating devices and of auxiliary and control circuits and maximum pressure for operation (if applicable)
 - five closing operations;
 - five opening operations.
- b) at specified minimum supply voltage of operating devices and of auxiliary and control circuits and minimum functional pressure for operation (if applicable)
 - five closing operations;
 - five opening operations.
- c) at rated supply voltage of operating devices and of auxiliary and control circuits and rated pressure for operation (if applicable)

- five open-close operating cycles with the closing mechanism energized by the opening of the main contacts through the auxiliary switch.

Mechanical operating tests shall be made on the complete by-pass switch. However, when by-pass switches are assembled and shipped as separate units, routine tests may be performed on components according to 6.101.1.2. In such cases, the manufacturer shall produce a programme of commissioning tests for use at site to confirm the compatibility of such separate units and components when assembled as a by-pass switch. A guide for commissioning tests is given in 10.2.101.

For all required operating sequences, the following shall be performed and records made of the closing and opening operations:

- measurement of operating times;
- where applicable, measurement of fluid consumption during operations, for example pressure difference.

Proof shall be given that the mechanical behaviour conforms to that of the test specimen used for type testing. For example, a no-load operating cycle, as described in 6.101.1.1, can be performed to record the no-load travel curves at the end of the routine tests. Where this is done, the curve shall be within the prescribed envelope of the reference mechanical travel characteristic, as defined in 6.101.1.1, from the instant of contact separation to the end of contact travel or from the start of contact travel to the instant of contact touch.

Where the mechanical routine tests are performed on sub-assemblies, the reference mechanical travel characteristics shall be confirmed to be correct, as above, at the end of the commissioning tests on site.

If the measurement is performed on site, the manufacturer shall state the preferred measuring procedure. If other procedures are used, the results may be different and the comparison of the instantaneous contact stroke may be impossible to achieve.

The mechanical travel characteristics can be recorded directly, using a travel transducer or similar device on the by-pass switch contact system or at other convenient locations on the drive to the contact system where there is a direct connection, and a representative image of the contact stroke can be achieved. The mechanical travel characteristics shall be preferably a continuous curve as shown in Figure 7. Where the measurements are taken on site, other methods may be applied which record points of travel during the operating period.

In these circumstances, the number of points recorded shall be sufficient to derive the time to, and contact speed at, contact touch and contact separation, together with the total travel time.

After completion of the required operating sequences, the following tests and inspections shall be performed (if applicable):

- connections shall be checked;
- the control and/or auxiliary switches shall correctly indicate the open and closed positions of the by-pass switch;
- all auxiliary equipment shall operate correctly at the limits of supply voltage of operating devices and of auxiliary and control circuits and/or pressures for operation.

Furthermore the following tests and inspections shall be made (if applicable):

- measurement of the resistance of heaters (if fitted) and of the control coils;
- inspection of the wiring of the control, heater and auxiliary equipment circuits and checking of the number of auxiliary contacts, in accordance with the order specification;
- inspection of control cubicle (electrical, mechanical, pneumatic and hydraulic systems);

- recharging duration(s);
- functional performance of pressure relief valve;
- operation of electrical, mechanical, pneumatic or hydraulic interlocks and signalling devices;
- operation of anti-pumping device;
- general performance of equipment within the required tolerance of the supply voltage;
- inspection of earthing terminals of the by-pass switch.

8 Guide to the selection of by-pass switches for service

~~This clause does not apply to by-pass switches.~~ For more information refer to IEC 60143-1, IEC 60143-2 and Annexes E and F of this standard.

9 Information to be given with enquiries, tenders and orders

9.101 Information to be given with enquiries and orders

When enquiring about, or ordering a by-pass switch, the following particulars shall be supplied by the enquirer:

- a) particulars of systems, i.e. nominal and highest voltages to earth and across the by-pass unit, frequency, number of phases;
- b) service conditions including minimum and maximum ambient air temperatures, altitude if over 1 000 m and any special condition likely to exist or arise, for example unusual exposure to water vapour, moisture, fumes, explosive gases, excessive dust or salt air;
- c) characteristics of by-pass switch.

The following information shall be given:

Type of information	Reference
1) number of poles	2
2) environmental conditions (temperature, wind, ice, etc.)	4.1
3) rated voltage to earth and across poles	4.2
4) rated insulation level to earth and across poles where a choice exists between different insulation levels corresponding to a given rated voltage, or, if other than standard, the desired insulation levels	4.3
5) rated frequency	4.4
6) rated normal current	4.5
7) rated short-time withstand current	4.6
8) rated peak withstand current	4.7
9) duration of short-circuit	4.101
10) rated operating sequence	4.102
11) rated by-pass making current	4.102
12) frequency of the rated by-pass making current	3.8.28
13) capacitor bank discharge current	4.102
14) damping of the by-pass making current	4.103
15) rated by-pass insertion current	4.104
16) rated reinsertion voltage	4.105
17) maximum closing time	4.105
18) maximum open-close time	4.104
19) maximum limiting peak voltage of the overvoltage protector	4.104
20) minimum time-to-peak voltage during insertion	Annex F
21) compensation factor	Annex F
22) amplitude of power swing	4.106
23) the type tests specified under special request (for example artificial pollution and radio interference, etc.)	
24) the number of mechanical operating sequences (class M1 or M2)	
25) if applicable, any test exceeding the standardised type, routine and commissioning tests	
d) characteristics of the operating mechanism of by-pass switch and associated equipment, in particular:	
1) number and type of spare auxiliary switches;	
2) rated supply voltage and rated supply frequency;	
3) number of releases for closing, if more than one;	
4) number of releases for opening, if more than one.	
e) requirements concerning the use of compressed gas and requirements for design and tests of pressure vessels.	

NOTE The enquirer should give information of any special conditions, not included above, that might influence the tender or order.

9.102 Information to be given with tenders

When the enquirer requests technical particulars of a by-pass switch, the following information (those which are applicable) shall be given by the manufacturer, with the descriptive matter and drawings:

- a) rated values and characteristics:

Type of information	Reference
1) number of poles	
2) class: environmental conditions (temperature, wind, ice-coating)	2
3) rated voltage to earth and across pole	4.1
4) rated insulation level to earth and across pole	4.2
5) rated frequency	4.3
6) rated normal current	4.4
7) rated short-time withstand current	4.5
8) rated peak withstand current	4.6
9) rated duration of short-circuit	4.7
10) rated operating sequence	4.101
11) rated by-pass making current	4.102
12) frequency of the rated by-pass making current	4.102
13) capacitor bank discharge current	3.8.28
14) damping of the by-pass making current	4.102
15) rated by-pass insertion current	4.103
16) maximum limiting peak voltage of the overvoltage protector	4.104
17) minimum time-to-peak voltage during insertion	4.104
18) rated maximum closing time and rated maximum open-close time	4.105
19) the type tests specified under special request (for example artificial pollution and radio interference, etc.)	
20) class M1 or class M2 for mechanical endurance	4.106

b) type tests:

certificate or report on request;

c) constructional features:

The following details are required where they are applicable to the design:

- 1) mass of complete by-pass switch without fluids for insulation, by-passing, insertion and operation;
- 2) mass/volume of fluid for insulation, its quality and operating range, including the minimum functional value;
- 3) mass/volume of fluid for by-passing and insertion (where different fluid to items 2) and/or 4)), its quality and operating range, including the minimum functional value;
- 4) mass/volume of fluid for operation (where different fluid to items 2) and/or 3)), its quality and operating range, including the minimum functional value;
- 5) tightness qualification;
- 6) mass/volume of fluids per pole to fill to a level sufficient to prevent deterioration of internal components during storage and transportation;
- 7) number of units in series per pole;
- 8) minimum clearances in air:
 - between poles;
 - to earth;
 - the safety boundaries during a by-passing operation, for by-pass switches with an external exhaust for ionised gasses or flame;
- 9) any special arrangements (for example heating or cooling) to maintain the rated characteristics of the by-pass switch at the required temperatures of the ambient air;

d) operating mechanism of by-pass switch and associated equipment:

- 1) type of operating mechanism;

- 2) rated supply voltage and/or pressure of closing mechanism, pressure limits where different to or expanding data required in c) 4) of 9.102;
 - 3) current required at rated supply voltage to close the by-pass switch;
 - 4) energy expended to close the by-pass switch, for example measured as a fall in pressure;
 - 5) rated supply voltage of shunt opening release;
 - 6) current required at rated supply voltage for shunt opening release;
 - 7) number and type of spare auxiliary switches;
 - 8) current required at rated supply voltage by other auxiliaries;
 - 9) setting of high and low pressure interlocking devices;
 - 10) number of releases for closing, if more than one;
 - 11) number of releases for opening, if more than one;
- e) overall dimensions and other information.

The manufacturer shall give the necessary information as regards the overall dimensions of the by-pass switch and details necessary for the design of the foundation.

General information regarding maintenance of the by-pass switch and its connections shall be given.

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

Clause 10 of IEC 62271-1 is applicable, with the following additions.

10.1 Conditions during transport, storage and installation

Subclause 10.1 of IEC 62271-1 is applicable.

10.2 Installation

Subclauses 10.2.1 to 10.2.4 of IEC 62271-1 are applicable, with the following addition.

10.2.101 Guide for commissioning tests

After a by-pass switch has been installed and all connections have been completed, commissioning tests are recommended to be performed. The purpose of these tests is to confirm that transportation and storage have not damaged the by-pass switch. In addition, when a large part of the assembly and/or of the adjustment is performed on site, as identified in 7.101, the tests are required to confirm compatibility of the sub-components and the satisfactory nature of both the site work and the functional characteristics dependent upon it.

In addition to the requirements of 10.2.102, a minimum of 50 no-load operations shall be performed at commissioning, on site, on the by-pass switch where major sub-assemblies are combined at site without previous routine tests on the complete by-pass switch. These operations shall be performed after assembly, all connections and checks having been made and the programme of commissioning tests having been completed. These operations may include deferred routine test operations forming part of the commissioning programme only where they are made after all site adjustments and tightness checks are complete. The purpose of these tests is to reduce occurrences of maloperation and failure early in the operational life of the by-pass switch.

The manufacturer shall produce a programme of site commissioning checks and tests. Repetition of the full programme of routine tests, already performed in the factory, shall be avoided as the purpose of commissioning tests is for confirmation of

- absence of damage;

- compatibility of separate units;
- correct assembly;
- correct performance of the assembled by-pass switch.

In general, this is achieved when the commissioning tests include, but are not limited to, the programme given in 10.2.102. The results of the tests shall be recorded in a test report.

10.2.102 Commissioning checks and test programme

10.2.102.1 Checks after installation

Subclause 10.2.101 requires the manufacturer to produce a programme of commissioning checks and tests. This should be based on, but is not limited to, the programme of checks and tests given here.

10.2.102.1.1 General checks

These shall include the following:

- assembly conforms to manufacturer's drawings and instructions;
- tightness of by-pass switch, its fastenings, fluid systems and control devices;
- external insulation and, where applicable, internal insulation are undamaged and clean;
- paint and other corrosion protection are sound;
- operating devices, especially operating releases, are free from contamination;
- adequacy and integrity of the earth connection up to and including the interface with the substation earthing system;

and, where applicable:

- record the number on the operations counter(s) at delivery;
- record the number on the operations counter(s) at completion of all site testing;
- record the number on the operations counter(s) at first energisation.

10.2.102.1.2 Checks of electrical circuits

This shall include:

- conformity to the wiring diagram;
- correct operation of signalling (position, alarms, lockouts, etc.);
- correct operation of heating and lighting.

10.2.102.1.3 Checks of the insulation and/or extinguishing fluid(s)

Oil	Type, dielectric strength (IEC 60296), level
SF ₆	Filling pressure/density, and quality checks, to confirm the acceptance levels of IEC 60376, IEC 60480 and IEC 61634. These quality checks are not required on sealed equipment and new gas used from sealed bottles. A dewpoint check and a check of the total impurities shall be carried out to confirm the manufacturer's acceptance levels
Gas mixtures	Quality to be confirmed prior to energisation
Compressed air	Quality (if applicable) and pressure

10.2.102.1.4 Checks on operating fluid(s), where filled or added to on site

Hydraulic oil Level and, unless otherwise agreed, confirmation that the moisture content is sufficiently low to prevent internal corrosion or other damage to the hydraulic system

Nitrogen Filling pressure and purity (for example oxygen free or 1 % tracer gas)

10.2.102.1.5 Site operations

Confirmation shall be given that the programme of commissioning checks and tests required by 7.101 has been completed and, where applicable, extended by the additional 50 operations required by 10.2.101.

10.2.102.2 Mechanical tests and measurements

10.2.102.2.1 Measurements of the characteristic insulating and/or by-passing and insertion fluid pressures (where applicable)

10.2.102.2.1.1 General

The following measurements shall be taken in order to compare them with the values both recorded during the routine tests and guaranteed by the manufacturer. These values serve as the reference for future maintenance and other checks and will enable any drift in operating characteristics to be detected.

These measurements involve a check of the operation of the alarm and lockout devices (pressure switches, relays, transducers, etc.) where applicable.

10.2.102.2.1.2 Measurements to be taken

- a) Where applicable, on rising pressure:
 - the reset value of the closing lockout;
 - the reset value of the opening lockout;
 - the reset value of the auto-reopening lockout;
 - disappearance of the low-pressure alarm.
- b) Where applicable, on dropping pressure:
 - appearance of low-pressure alarm;
 - operating value of lockout of the auto-reopening feature;
 - operating value of lockout of the opening;
 - operating value of lockout of the closing.

10.2.102.2.2 Measurements of characteristic operating fluid pressures (if applicable)

10.2.102.2.2.1 General

The following measurements (list to be adapted as necessary) shall be taken, in order to compare them with the values both recorded during routine tests and guaranteed by the manufacturer. These values may serve as a reference during later checks (maintenance) and will enable any drift in operating characteristics to be detected.

The measurements involve a check of the operation of the lockout or alarm devices (pressure switches, relays, etc.).

10.2.102.2.2.2 Measurements to be taken

- a) On a rise in pressure with the pumping device (pump, compressor, controlled valve, etc.) in service:
- the reset value of the closing lockout;
 - the reset value of the opening lockout;
 - the reset value of the auto-reopening lockout (if applicable);
 - disappearance of the low-pressure alarm;
 - cut-off of the pumping device;
 - opening of the safety valve (if applicable).

NOTE The measurements may be combined with the measurements of the recharging time of the operating mechanism (see 10.2.102.2.5.2).

- b) On a drop in pressure with the pumping device switched off:

- closing of the safety valve (if applicable);
- starting of the pumping device;
- appearance of the low-pressure alarm;
- lockout of the auto-reopening (if applicable);
- lockout of the opening;
- lockout of the closing.

In the case of a hydraulic control, the pre-inflation pressure of the accumulators should be indicated together with the ambient air temperature before the tests are performed.

10.2.102.2.3 Measurement of consumption during operations (if applicable)

With the pumping device switched off and the individual reservoir at the cut-in pressure of the pumping device, the consumption during each of the following operations or operating sequence should be evaluated:

- O;
- C;
- OC.

The steady-state pressure after each operation or operating sequence should be noted.

10.2.102.2.4 Verification of the rated operating sequence

The ability of the by-pass switch to perform its specified rated operating sequence should be verified. The tests should be performed with the recharging device in service, with site supply voltage and, if applicable, starting with the cut-in pressure of the pumping device, as in 10.2.102.2.3.

Evidence should be given to demonstrate the coordination between the interlocking device intervention levels and the minimum pressures for operation measured during the rated operating sequence.

The site supply voltage is the on-load voltage available at the by-pass switch from the normal site supply and should be compatible with the rated supply voltage of auxiliary and control circuits.

10.2.102.2.5 Measurement of time quantities

10.2.102.2.5.1 Characteristic time quantities of the by-pass switch

a) Closing and opening times, time spread

The following measurements should be made at maximum pressure (cut-off of pumping device) and at the supply voltage of the auxiliary and control circuits, measured at the terminals of the equipment and under typical load conditions of the supply voltage source:

- closing time of each pole, time spread of the poles and, when possible, time spread of the by-passing units or groups of units of each pole;
- opening time of each pole, time spread of the poles and, when possible, time spread of the by-passing units or groups of units of each pole.

These measurements should be carried out for separate opening and closing operations and for the individual opening and closing operations of a OC operating cycle, in case of a by-pass switch with a rated operating sequence $C - t - OC - t' - OC$.

In the case of multiple close and trip coils, all should be tested and the times recorded for each.

The supply voltage before and during the operations should be recorded.

b) Operation of control and auxiliary contacts

The timing of the operation of one of each kind (by-pass and insertion) of control and auxiliary contacts should be determined in relation to the operation of the main contacts, on closing and on opening of the by-pass switch.

10.2.102.2.5.2 Recharging time of the operating mechanism

a) Fluid-operated mechanism

The operation time of the pumping device (pump, compressor, control valve, etc.) should be measured:

- between minimum and maximum pressure (cut-in and cut-off of the pumping device);
- during the following operations or operating sequence, starting each time with minimum pressure (cut-in of the pumping device):
 - C;
 - O;
 - OC.

b) Spring-operated mechanism

The recharging time of the motor after an opening operation should be measured at the site supply voltage.

10.2.102.2.6 Record of mechanical travel characteristics

As required by 7.101, a record can be made of the mechanical travel characteristics where the by-pass switch has been assembled as a complete by-pass switch for the first time on site or where all or part of the routine tests are performed on site. The record shall confirm satisfactory performance by comparison with the reference mechanical travel characteristics obtained during the reference no-load tests detailed in 6.101.1.1.

10.2.102.2.7 Checks of certain specific operations

10.2.102.2.7.1 Auto-reopening at the minimum functional pressure for operation (if applicable)

With the pumping device out of service, the control pressure should be lowered to the lockout value for auto-reopening and an auto-reopening operating sequence be carried out (under site conditions, it may be necessary to use a separate timing device to initiate reopening). The

test should be conducted at the supply voltage of the equipment. The supply voltage before and during the operations should be recorded. The final pressure should be noted and it should be ensured that there is sufficient safety margin to the minimum functional pressure for operation for closing, as a guard against pressure switch deviation and pressure transients.

In case of doubt, an alternative test to the one described above may be performed, starting with a lower pressure than the minimum functional pressure for operation for auto-reopening (short-circuited contact). It should then be verified that a closing operation is still possible.

10.2.102.2.7.2 Closing at the minimum functional pressure for operation (if applicable)

With the pumping device out of service, the control pressure should be lowered as far as the lockout value for closing and a closing operation be carried out. The test should be conducted at the supply voltage of the equipment. The supply voltage before and during the operations should be recorded. The final pressure should be noted.

10.2.102.2.7.3 Opening at the minimum functional pressure for operation (if applicable)

With the pumping device out of service, the control pressure should be lowered as far as the lockout value for opening and an opening operation be carried out. The test should be conducted at the supply voltage of the equipment. The supply voltage before and during the operations should be recorded. The final pressure should be noted and a sufficient safety margin is ensured to the minimum functional pressure for closing.

In case of doubt, an alternative test to the one described above may be performed, starting with a lower pressure than the minimum functional pressure for opening (short-circuited contact). It should then be verified that a closing operation is still possible.

10.2.102.2.7.4 Simulation of fault-making operation and check of anti-pumping device

Measurement should be taken of the time during which the by-pass switch remains open on a OC operating cycle with the close circuit energized by the closing of the auxiliary contact.

The test also allows checking of the anti-pumping device operation and the absence of malfunction for any mechanical, hydraulic or pneumatic reasons, caused by the rapid application of the closing command.

The opening command should be maintained for 1 s to 2 s in order that the anti-pumping device can be checked for effective operation.

NOTE A simplified anti-pumping test may also be executed, using the local control. In this case, an opening command is applied and maintained, while a consecutive closing command is applied.

10.2.102.2.7.5 Behaviour of the by-pass switch on an opening command while a closing command is already present

It should be verified that the by-pass switch meets the technical specifications in the presence of an opening command when previously a closing command is applied and maintained.

10.2.102.2.7.6 Application of a closing command on both releases simultaneously (if applicable)

It may happen that both releases (normal and emergency) are energized simultaneously (or virtually simultaneously).

It should be ensured that the operations are not subject to any mechanical, hydraulic or pneumatic interference, particularly if the releases do not operate at the same level.

10.2.102.2.7.7 Protection against pole discrepancy (if applicable)

Protection against pole discrepancy should be checked by either of the following tests:

- with the by-pass switch open, the closing release of one of the poles shall be energized and a check carried out to see that all poles close;
- with the by-pass switch closed, the opening release of one of the poles shall be energized and a check carried out to see that it opens and then closes.

10.2.102.3 Electrical tests and measurements

10.2.102.3.1 Dielectric tests

Dielectric tests on auxiliary circuits shall be performed to confirm that transportation and storage of the by-pass switch have not damaged these circuits. However, it is recognized that such circuits contain vulnerable sub-components and the application of the full testing voltage for the full duration can cause damage. In order to avoid this, and to avoid the temporary removal of proven connections, the supplier shall detail the test process that demonstrates that damage has not occurred as well as the method of recording the results from this test process.

For dielectric tests on the main circuit of metal-enclosed switchgear and controlgear, IEC 62271-200 and IEC 62271-203 are applicable (see bibliography).

10.2.102.3.2 Measurement of the resistance of the main circuit

Measurement of the resistance of the main circuit need only be made if by-passing units have been assembled on site. The measurement shall be made with a direct current in accordance with 7.3 of IEC 62271-1.

10.3 Operation

Subclause 10.3 of IEC 62271-1 is applicable.

10.4 Maintenance

Subclause 10.4 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

The manufacturer should give information regarding the maintenance of by-pass switches following by-pass making current and insertion current operations.

This information should include the number of operations after which the by-pass switch is to be overhauled.

Subclauses 10.4.1 to 10.4.3 of IEC 62271-1 are applicable. The checks required in 10.2.102.1.3 apply.

10.4.101 Resistors and capacitors (if applicable)

When checking resistors and capacitors, allowed variations of the values should be given.

11 Safety

Clause 11 of IEC 62271-1 is applicable with the following addition.

Any known chemical and environmental impact hazards should be identified in the by-pass switch handbook/manual.

12 Influence of the product on environment

Clause 12 of IEC 62271-1 is applicable.

Notes to the following Figures 1 through 3:

NOTE 1 In practice, there will be a time spread between the travel of the contacts of the three poles. For clarity, the travel of the contacts in the figures is indicated with a single line for all three poles.

NOTE 2 In practice, there will be a time spread between both the start and end of current flow in the three poles. For clarity, both the start and end of current flow in the figures is indicated with a single line for all three poles.

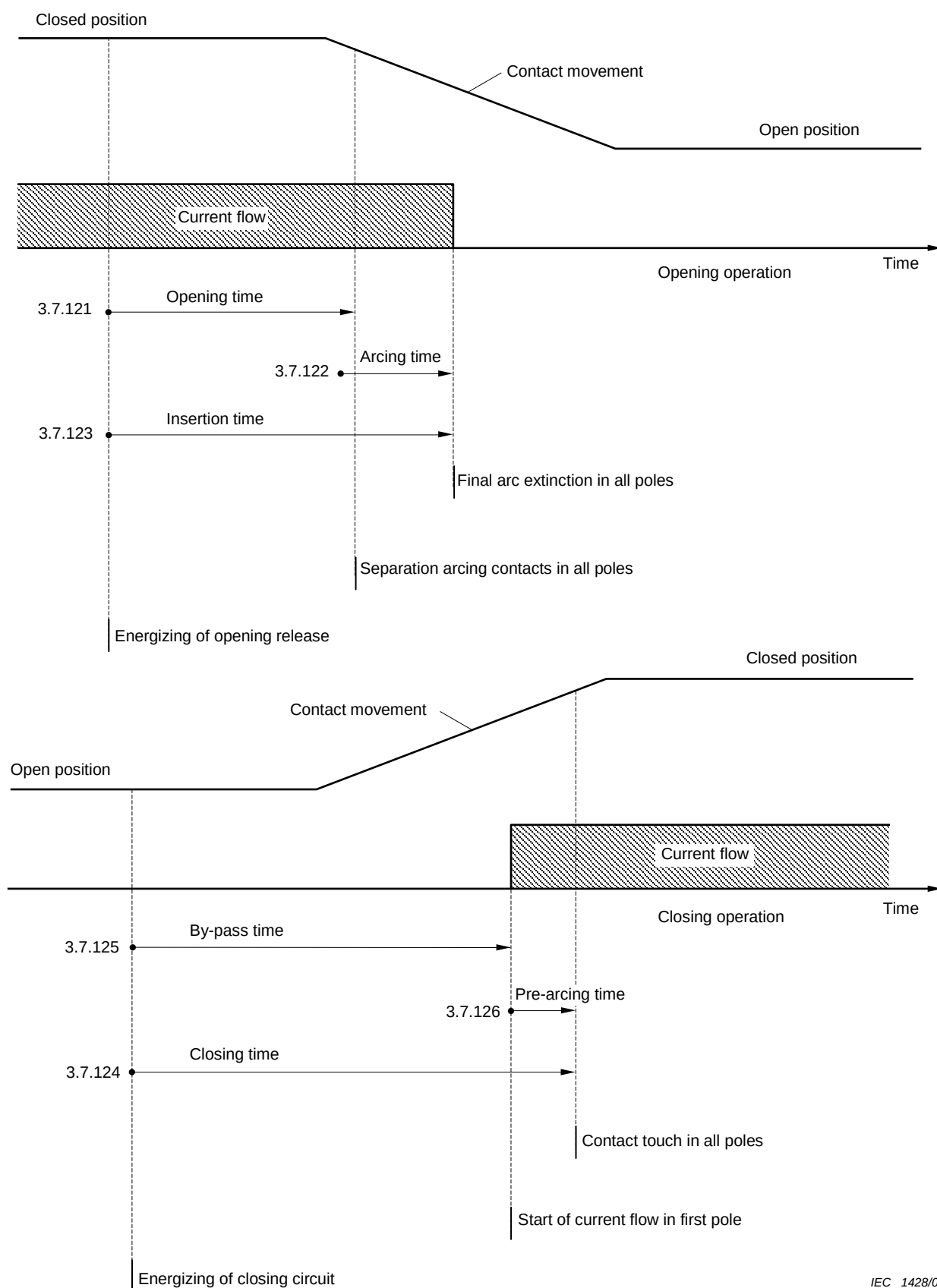
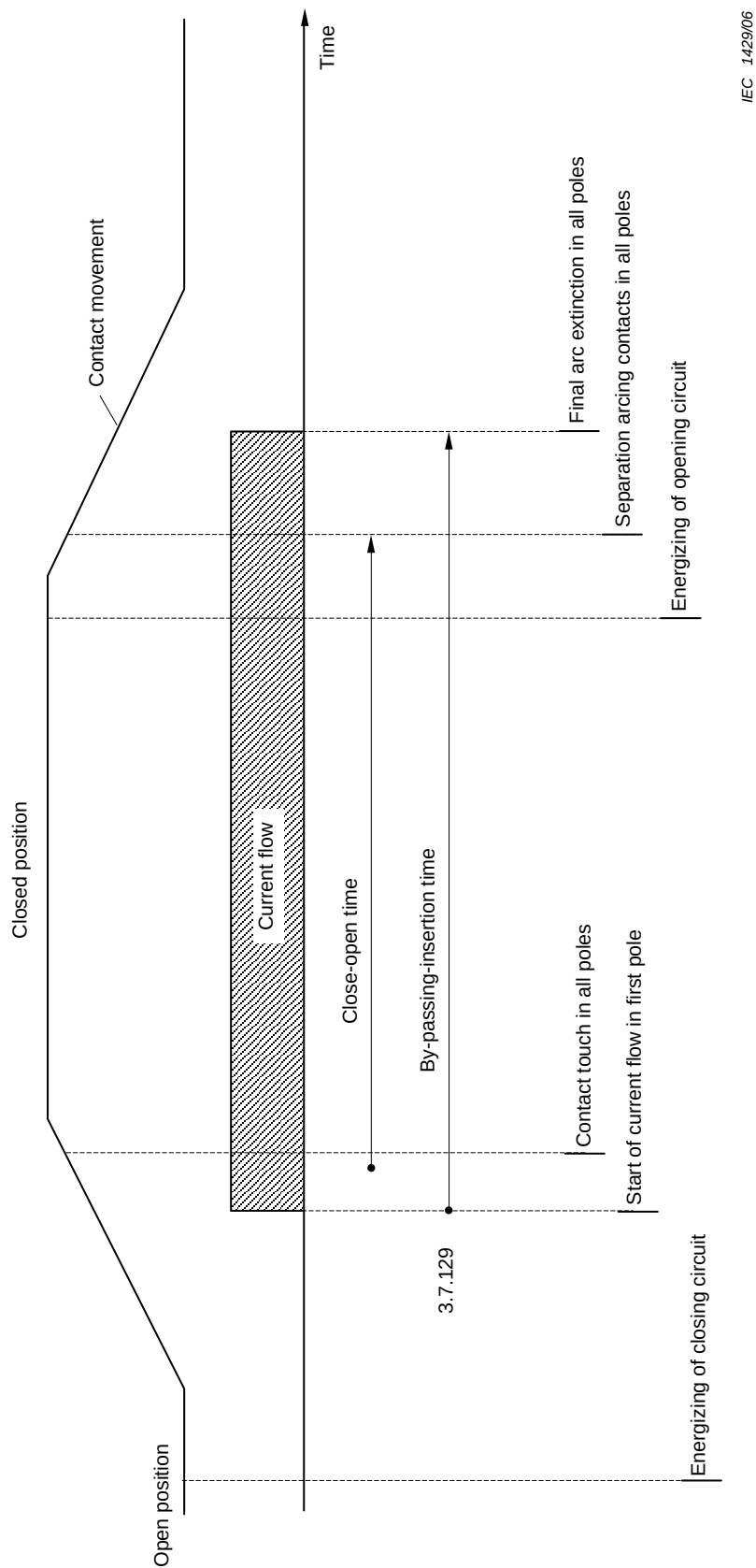


Figure 1 – By-pass switch – Opening and closing operations



IEC 1429/06

Figure 2 – By-pass switch – Close-open cycle

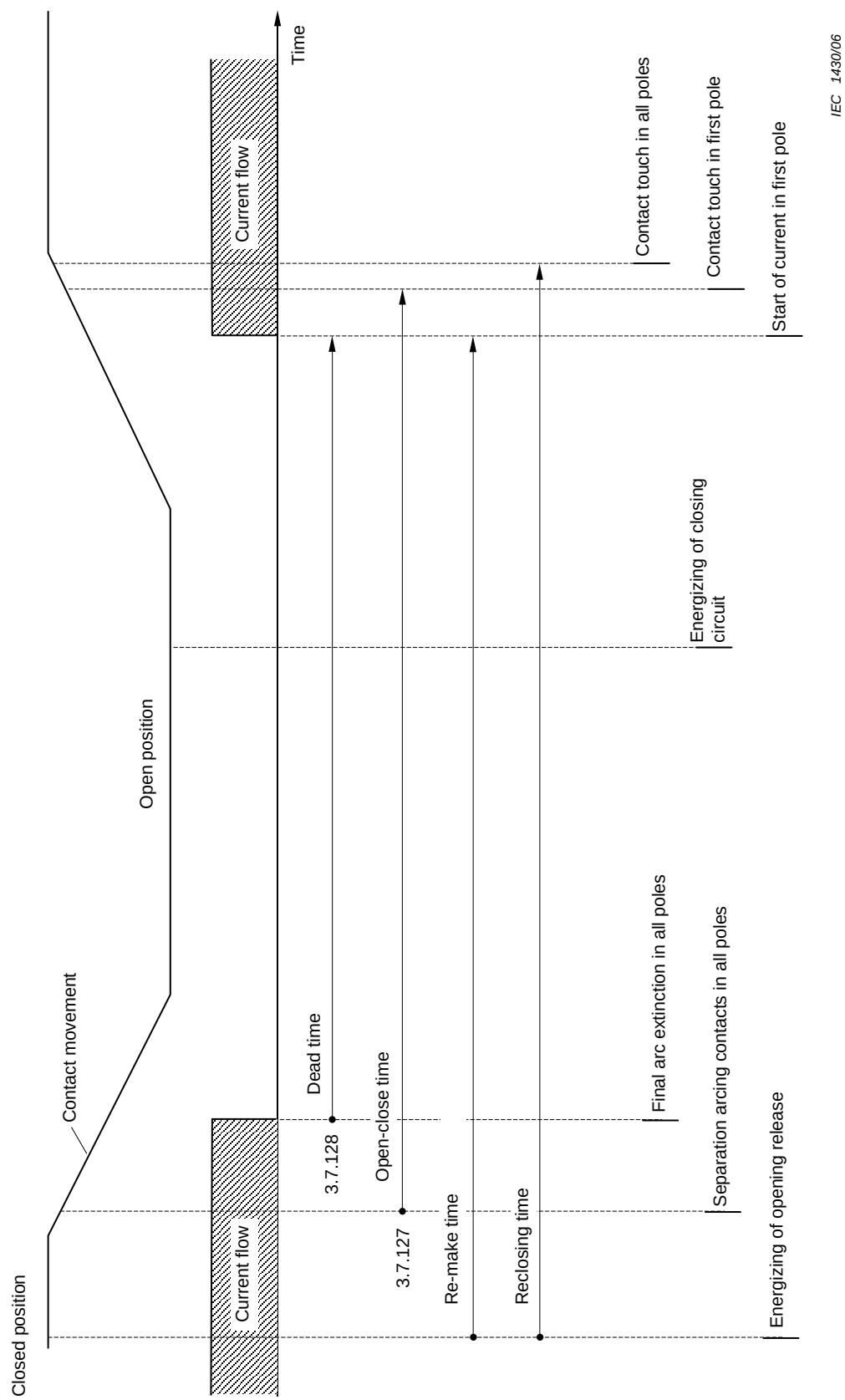


Figure 3 - By-pass switch - Open-close cycle

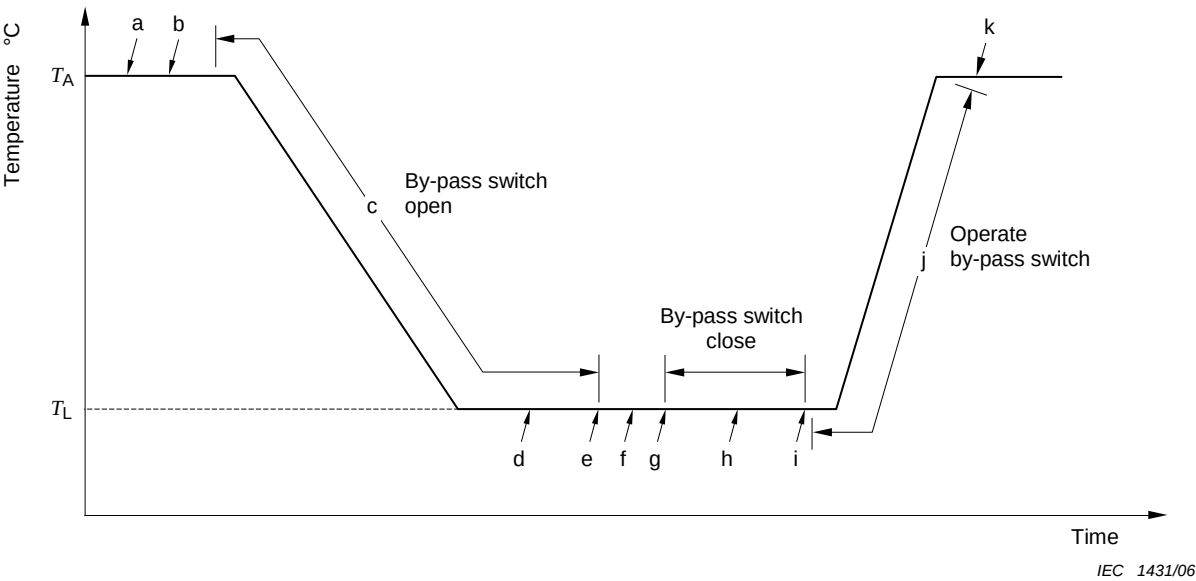


Figure 4a – Low temperature test

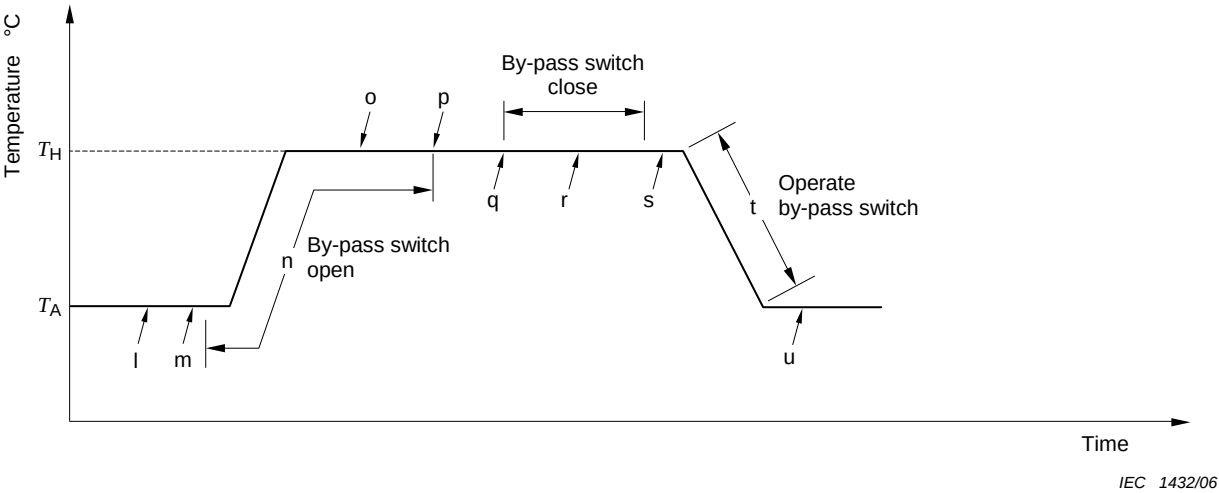
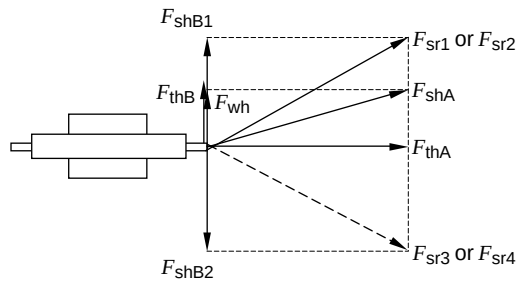


Figure 4b – High temperature test

NOTE Letters a to u identify application points of tests specified in 6.101.3.3 and 6.101.3.4.

Figure 4 – Test sequences for low and high temperature tests

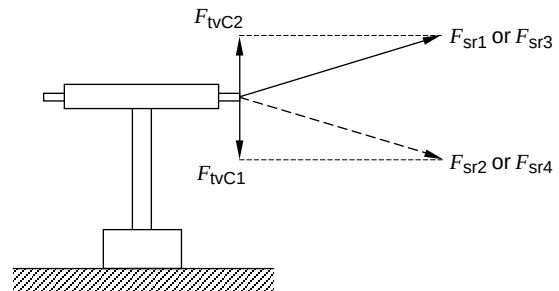
By-pass switch with more than one by-pass and insertion unit



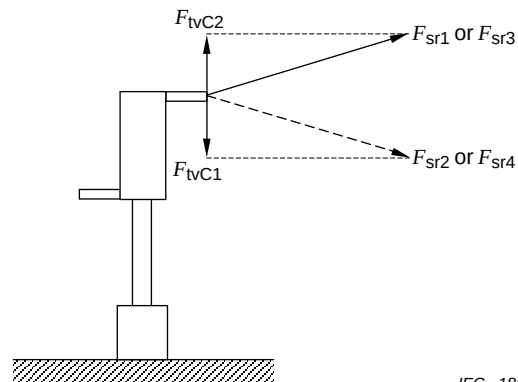
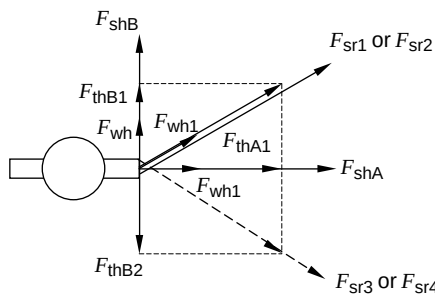
$$F_{shB1} = F_{thB1} + F_{wh} \text{ and } F_{shB2} = F_{thB2} + F_{wh}$$

$$F_{tv} = F_{sv} \text{ (see 6.101.6.2)}$$

IEC 1863/08



By-pass switch with one by-pass and insertion unit



IEC 1864/08

Test to item 6.101.6.2 a): F_{wh} acts in direction of the resultant of F_{thB} and F_{thA}

Test to item 6.101.6.2 b): F_{wh} acts in direction F_{thB} and F_{thA}

Key

F_{thA}	tensile force due to connected conductor (direction A)
F_{thB}	tensile force due to connected conductor (direction B)
F_{tv}	tensile vertical force due to connected conductor (direction C)
F_{wh}	horizontal force on by-pass switch due to wind pressure on ice-coated by-pass switch
F_{shA}, F_{shB}	horizontal forces resulting from F_{thA} , F_{thB} and F_{wh}
$F_{sr1}, F_{sr2}, F_{sr3}, F_{sr4}$	rated static terminal loads (resultant forces)

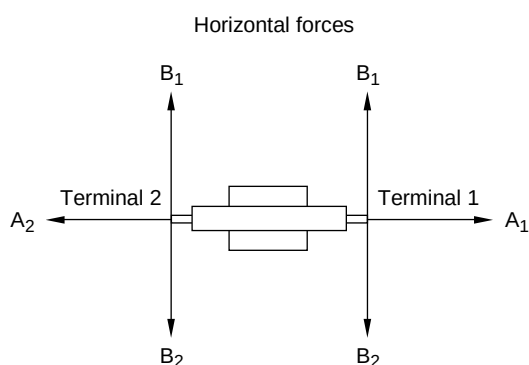
NOTE 1 Refer to Figure 6 for directions A, B and C.

NOTE 2 The index letter "s" characterises testing values.

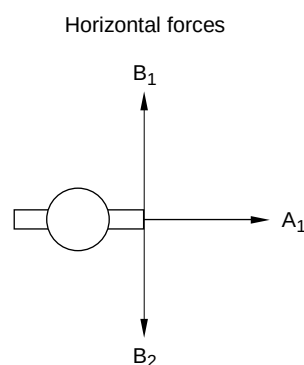
	Horizontal	Vertical	Remark
Forces due to dead weight, wind and ice on connected conductor	F_{thA}, F_{thB}	F_{tv}	According to Table 5
Forces due to wind and ice on by-pass switch ^a	F_{wh}	O	Calculated by manufacturer
^a The horizontal force on the by-pass switch, due to wind, may be moved from the centre of pressure to the terminal and reduced in magnitude in proportion to the longer lever arm. (The bending moment at the lowest part of the by-pass switch should be the same.)			

Figure 5 – Static terminal load forces

By-pass switch with more than one
by-pass and/or insertion units



By-pass switch with one
by-pass and/or insertion units

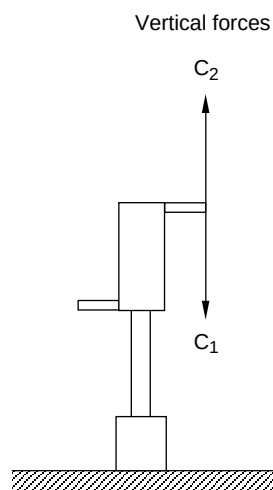
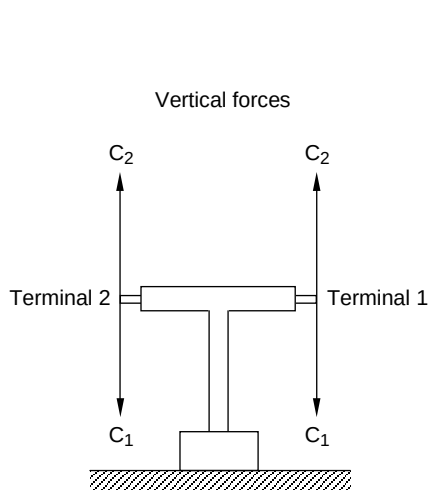


IEC 1865/08

Force directions: A_1 , B_1 , B_2 for terminal 1

Force directions: A_2 , B_1 , B_2 for terminal 2

Horizontal test forces: F_{shA} and F_{shB} (see Figure 5)



IEC 1866/08

Force directions: C_1 , C_2 , for terminal 1

Force directions: C_1 , C_2 , for terminal 2

Vertical test forces (both directions): F_{sv} (see Figure 5)

NOTE For by-pass switches that are symmetrical about the pole unit vertical centreline, only one terminal needs to be tested.

Figure 6 – Directions for static terminal load tests

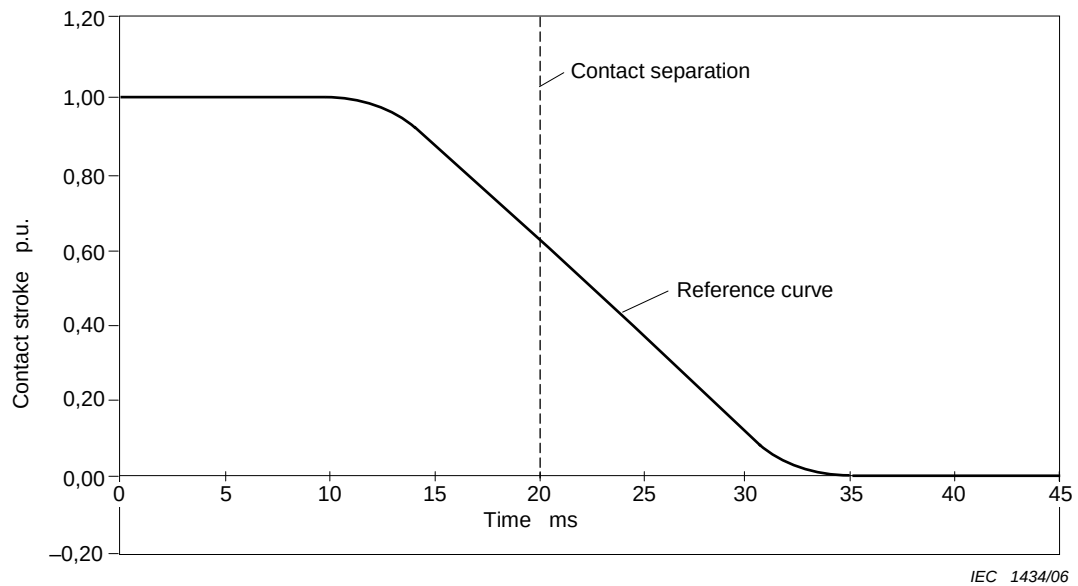


Figure 7 – Reference mechanical travel characteristics (idealized curve)

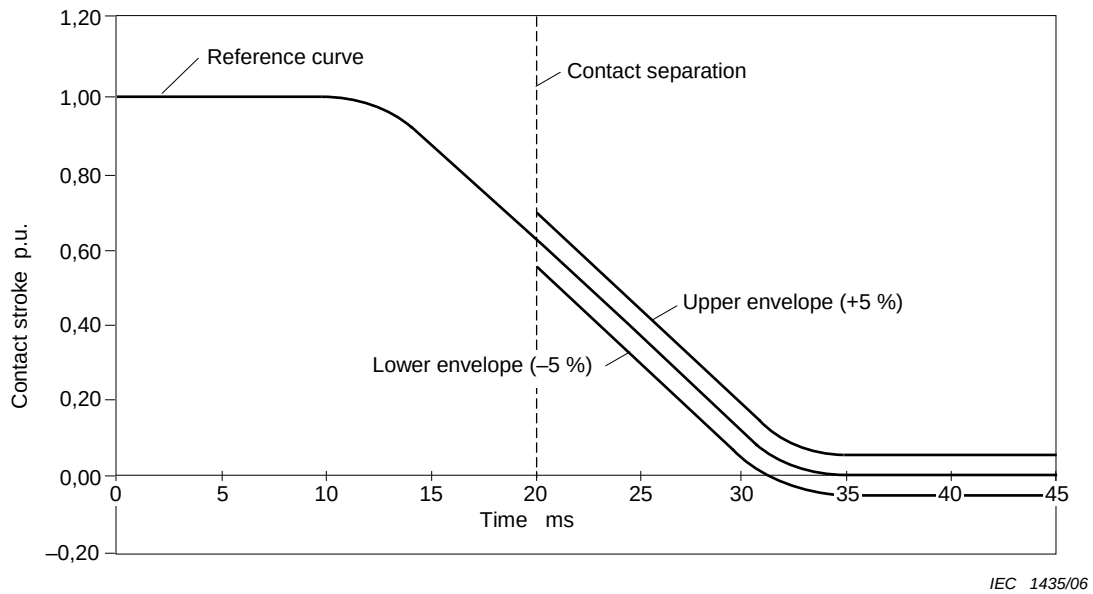


Figure 8 – Reference mechanical travel characteristics (idealized curve) with the prescribed envelopes centred over the reference curve ($\pm 5\%$), contact separation in this example at time $t = 20$ ms

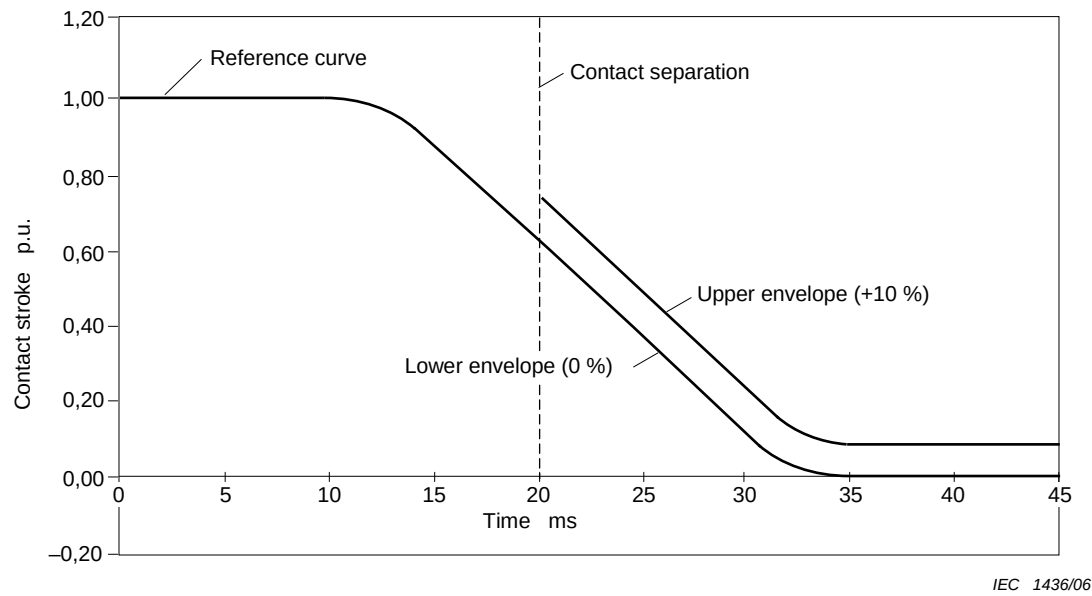


Figure 9 – Reference mechanical travel characteristics (idealized curve) with the prescribed envelopes fully displaced upward from the reference curve ($^{+10}_0$ %), contact separation in this example at time $t = 20$ ms

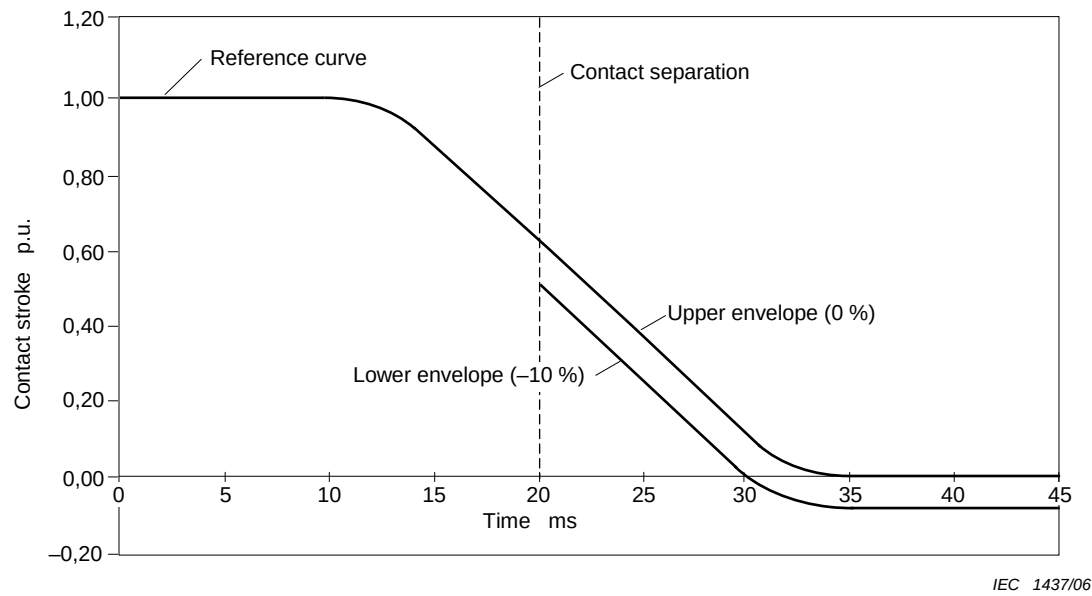
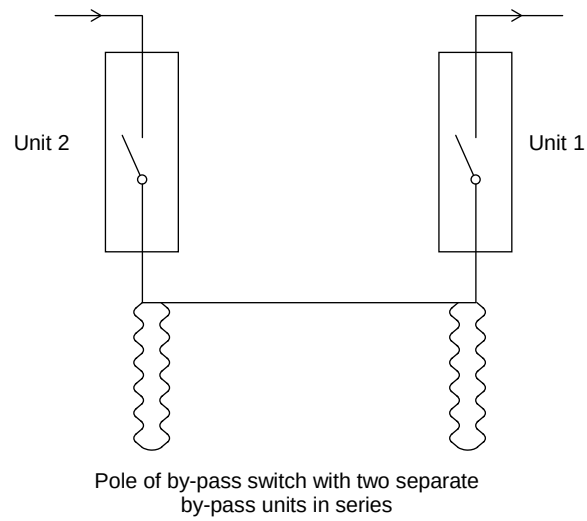
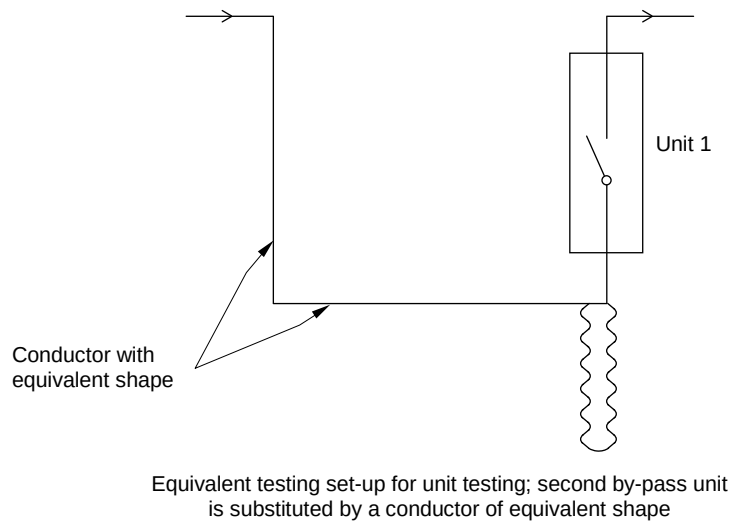


Figure 10 – Reference mechanical travel characteristics (idealized curve) with the prescribed envelopes fully displaced downward from the reference curve ($^0_{-10}$ %), contact separation in this example at time $t = 20$ ms

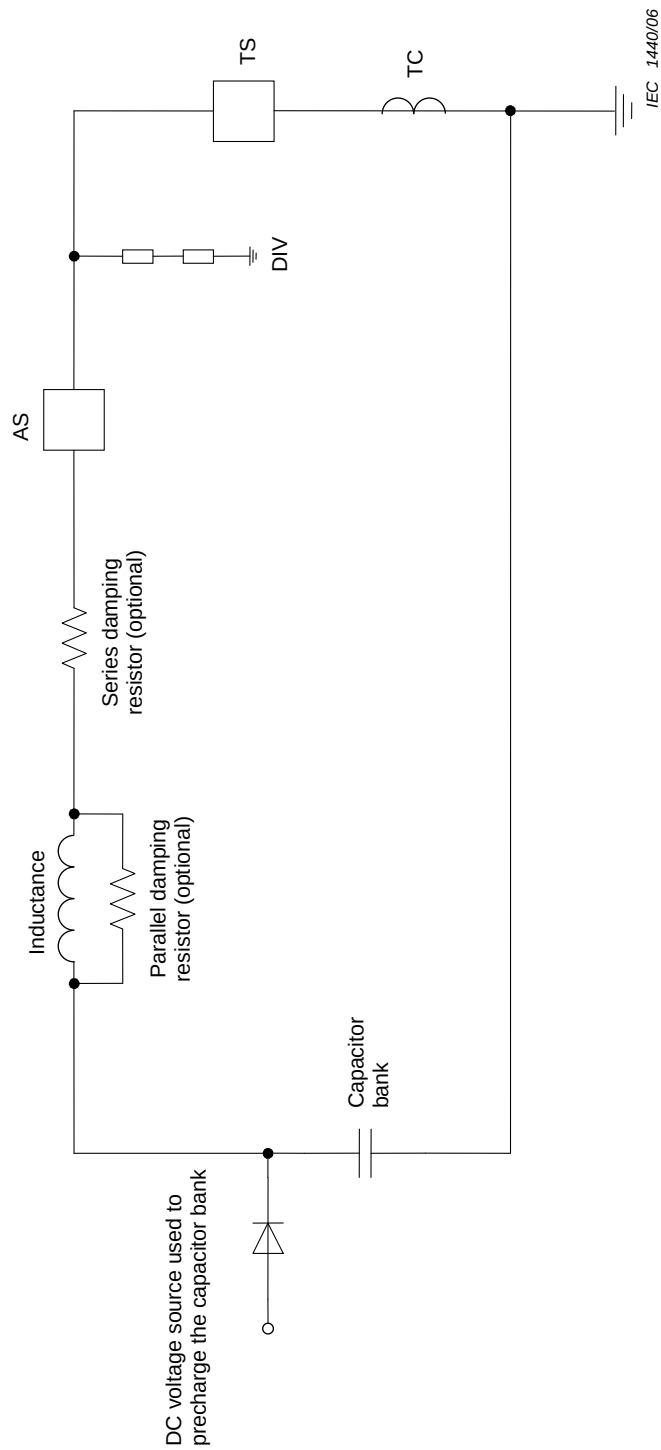


IEC 1438/06



IEC 1439/06

Figure 11 – Equivalent testing set-up for unit testing of by-pass switches with more than one separate by-pass units



Key

DIV voltage divider

AS auxiliary switch

TS tested by-pass switch

TC current measuring device

Figure 12 – Typical test circuit for the by-pass making current test-duty

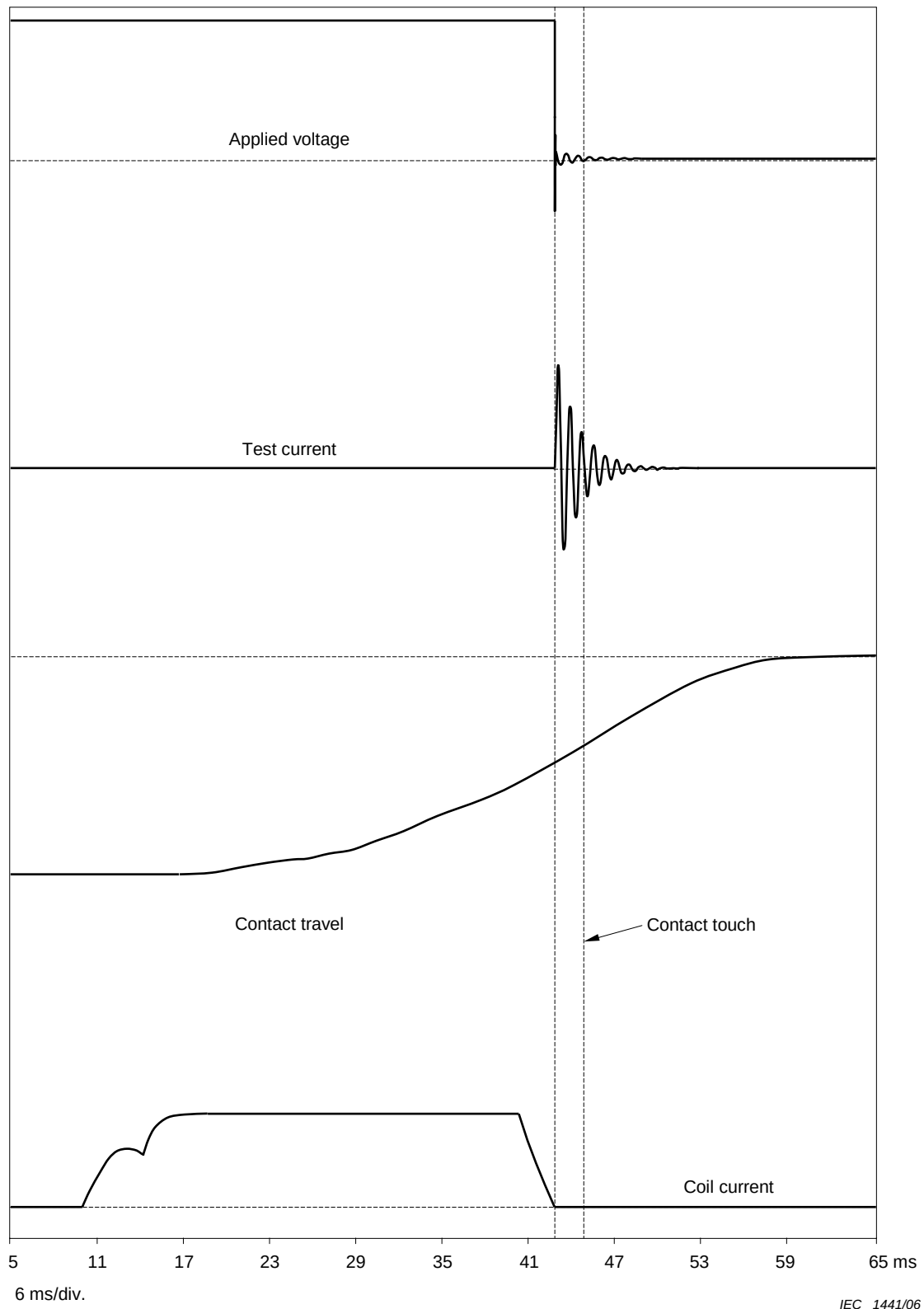
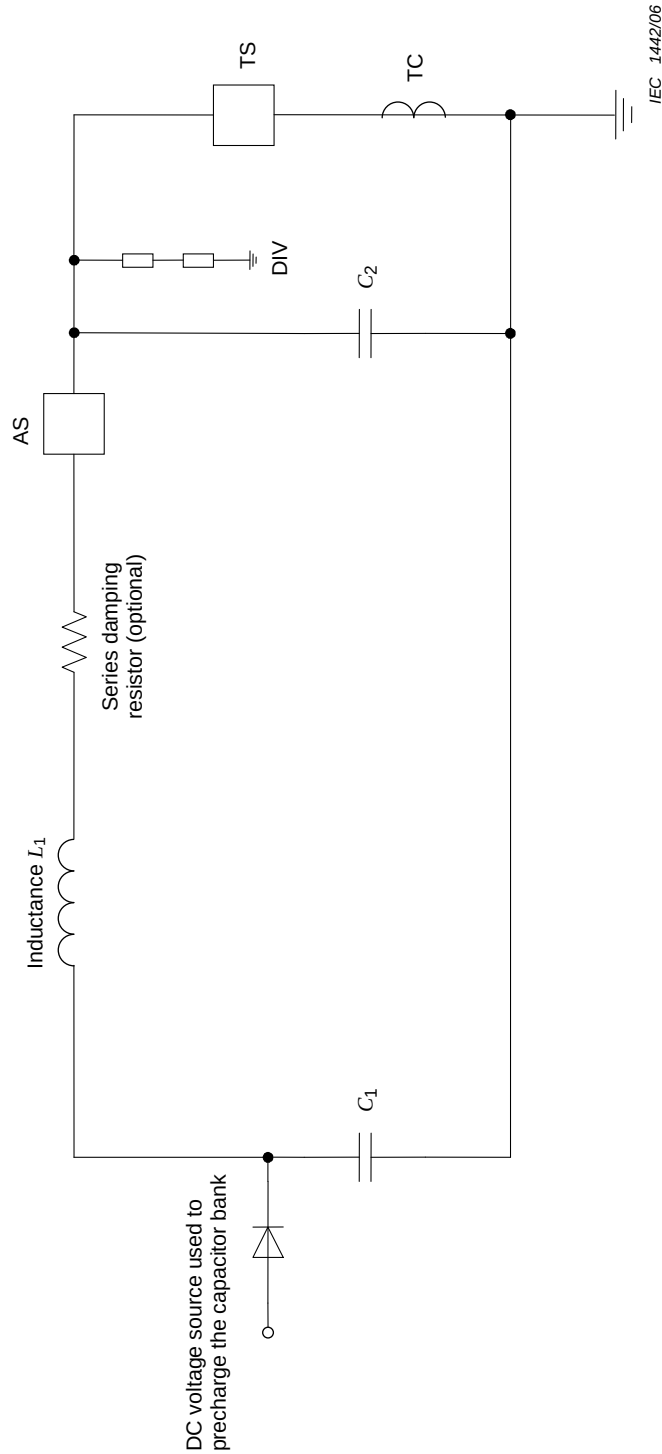


Figure 13 – Oscillogram obtained from the typical test circuit for the by-pass making current test-duty



Key

DIV voltage divider

AS auxiliary switch

TS tested by-pass switch

TC current measuring device

C_1 and L_1 set to the rated frequency (current source components)

C_1 , C_2 , and L_1 set to obtain the required time-to-peak of the transient recovery voltage (voltage source components)

Figure 14 – Typical LC test circuit for the insertion current test-duty

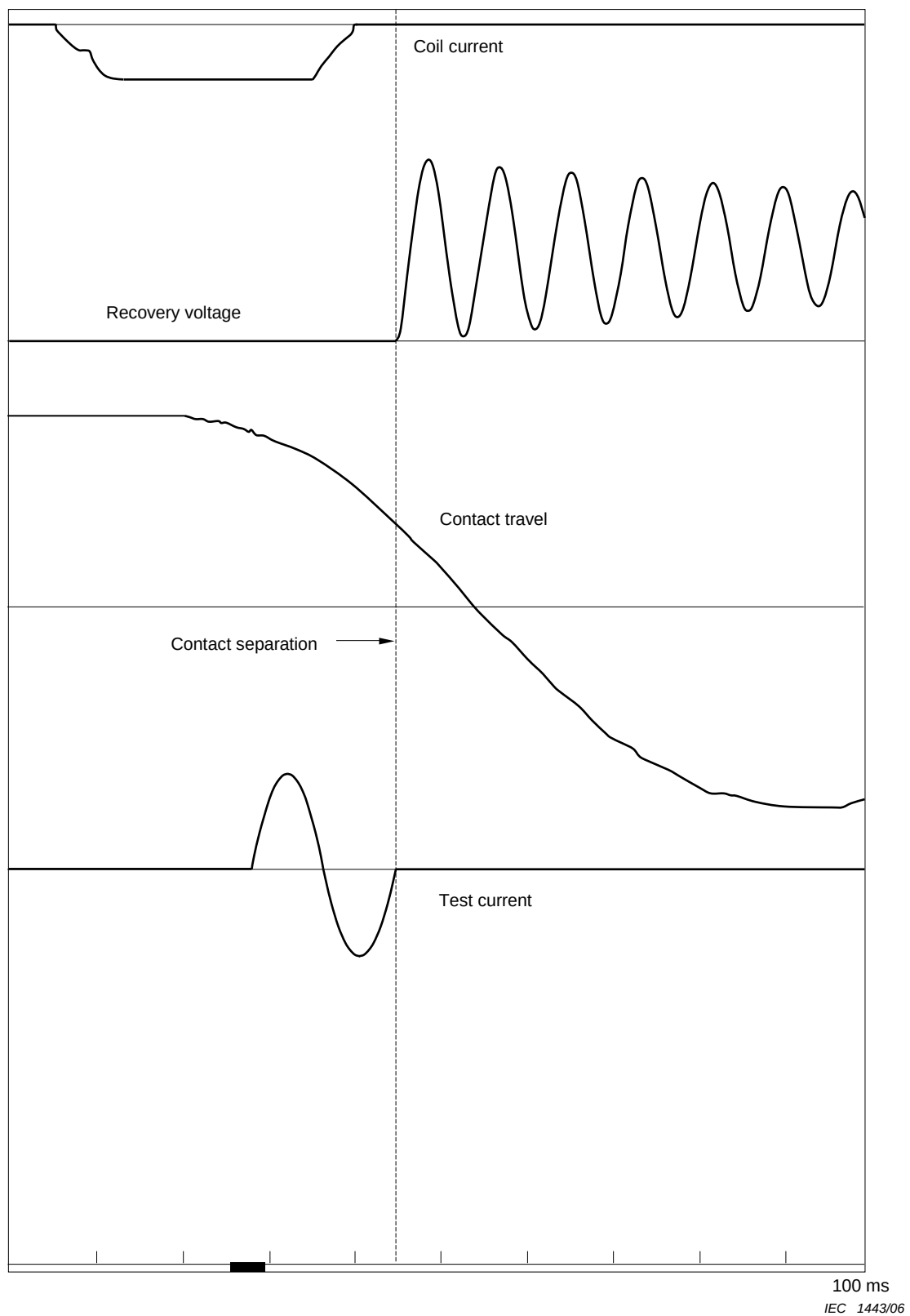
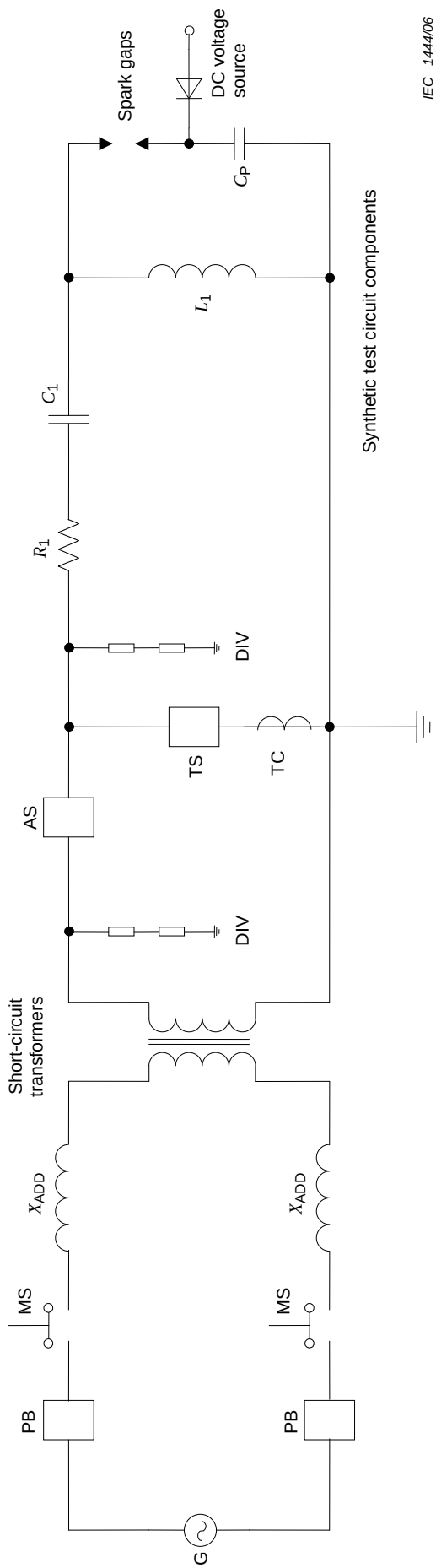


Figure 15 – Oscillogram obtained from the typical LC test circuit for the insertion current test-duty



Key

- G short-circuit generator supplying the power-frequency current
- PB protection circuit-breakers (back-up)
- MS making switches
- X_{ADD} reactances added to adjust the test current to the required insertion current value
- DIV voltage divider
- AS auxiliary switch
- TS tested by-pass switch
- TC current measuring device

R_1, C_1, L_1, C_P element of the voltage source (synthetic circuit)

Figure 16 – Typical test circuit for the insertion current test-duty (mainly for high rated insertion current)

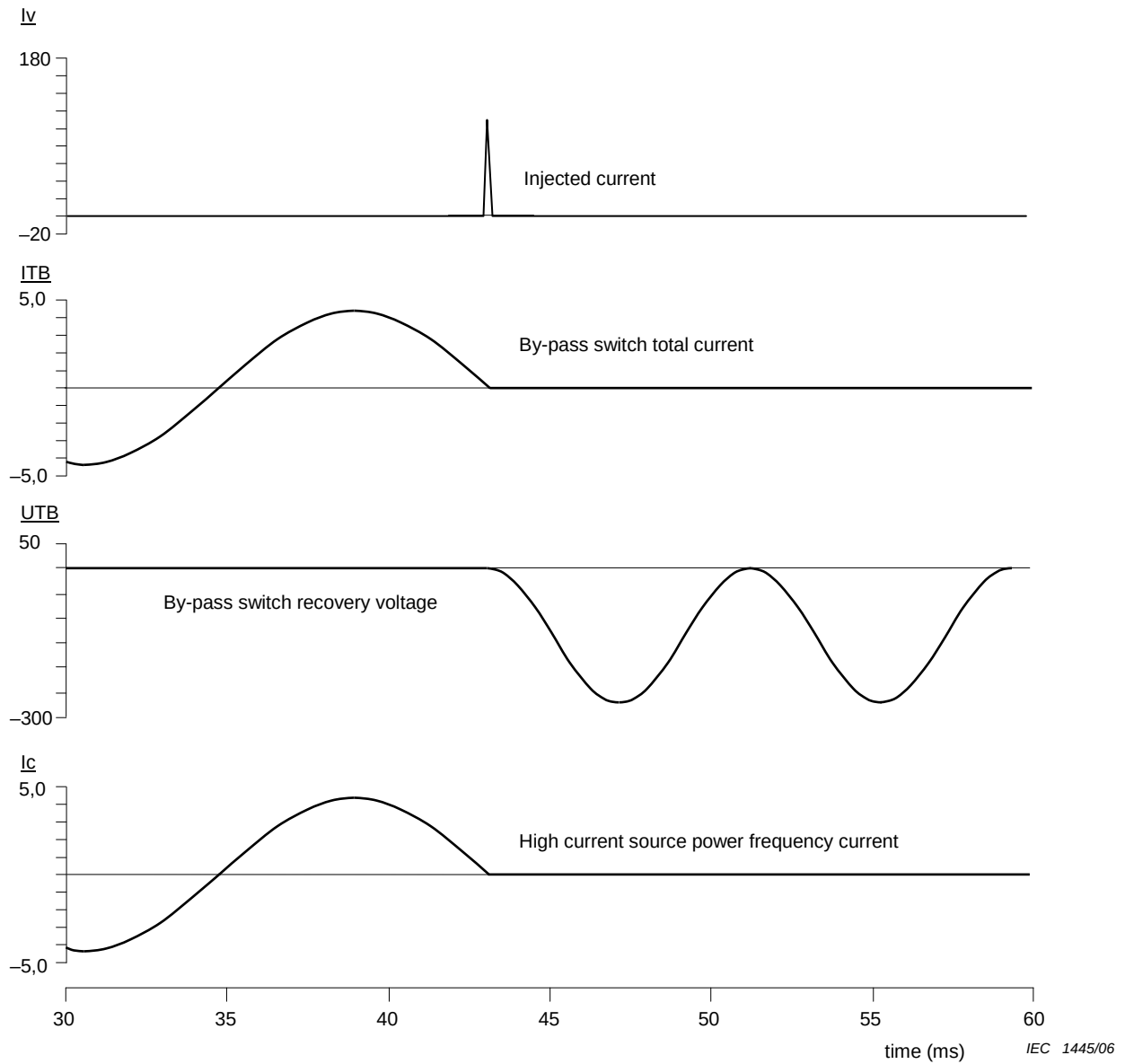
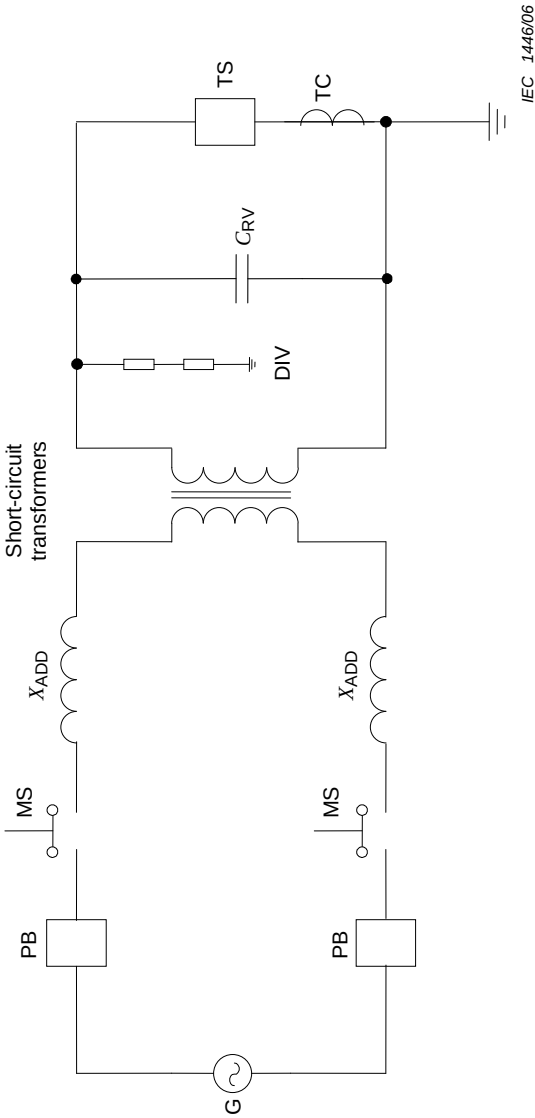


Figure 17 – Oscillogram obtained from the typical test circuit shown in Figure 16 for the insertion current test-duty



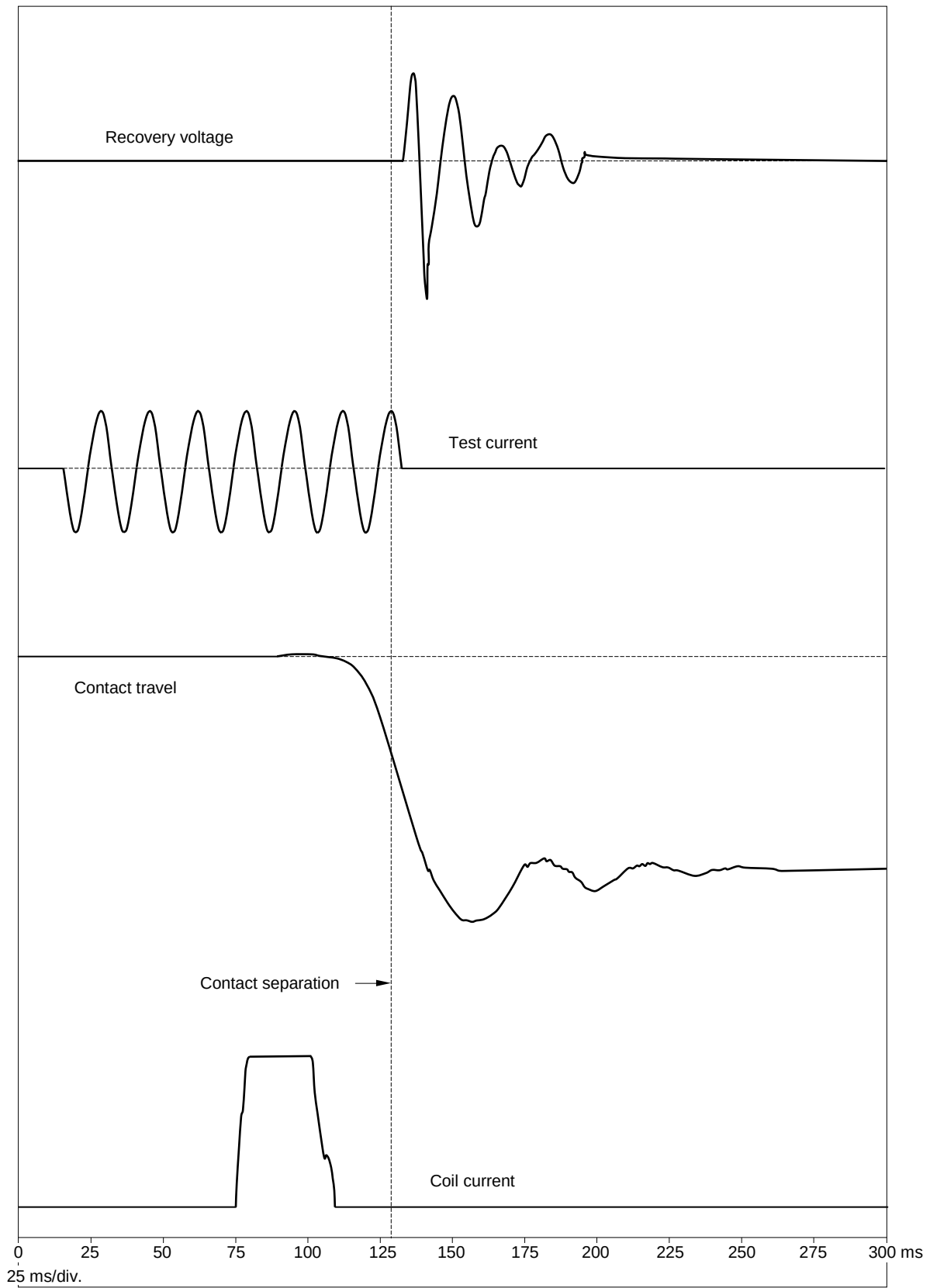
Key

- G short-circuit generator supplying the power-frequency current
- PB protection circuit-breakers (back-up)
- MS making switches
- X_{ADD} reactances added to adjust the test current to the required insertion current value
- DIV voltage dividers
- TS tested by-pass switch
- TC current measuring device

C_{RV} capacitor used to adjust the "1-cos" waveshape for to the required transient recovery voltage. The value of " C_{RV} " should be chosen to obtain a peak value of the TRV of 5,6 ms or 6,7 ms for by-pass switches exclusively rated for 50 Hz).

NOTE Because this circuit produces a second recovery voltage peak which is significantly higher than the first recovery voltage peak, it may be necessary to add some voltage-limiting devices (e.g. ZnO arresters) across the tested by-pass switch.

Figure 18 – Typical direct test circuit for the insertion current test-duty



IEC 1447/06

Figure 19 – Oscillogram obtained from the typical direct test circuit for the insertion current test-duty

Annex A (normative)

Tolerances on test quantities during type tests

A.1 Types of tolerances

During type tests, the following types of tolerances may normally be distinguished:

- tolerances on test quantities which directly determine the stress of the test object;
- tolerances concerning features or the behaviour of the test object before and after the test;
- tolerances on test conditions;
- tolerances concerning parameters of measurement devices to be applied.

In the following Table A.1, only tolerances on test quantities are considered.

A tolerance is defined as the range of the test value specified in this standard within which the measured test value should lie for a test to be valid. In certain cases (see 6.103 and Table 5) the test may remain valid even if the measured value falls outside the tolerance.

Any deviation of the measured test value and the true test value caused by the uncertainty of the measurement are not taken into account in this respect.

The basic rules for application of tolerances on test quantities during type tests are as follows:

- a) testing stations shall aim wherever possible for the test values specified;
- b) the tolerances on test quantities specified shall be observed by the testing station. Higher stresses of the by-pass switch exceeding those tolerances are permitted only with the consent of the manufacturer. Lower stresses render the test invalid;
- c) where, for any test quantity, no tolerance is given within this standard, or the standard to be applied, the type test shall be performed at values not less severe than specified. The upper stress limits are subject to the consent of the manufacturer;
- d) if, for any test quantity, only one limit is given, the other limit shall be considered to be as close as possible to the specified value.

Table A.1 – Tolerances on test quantities for type tests

Subclause	Designation of the test	Test quantity	Specified test value	Test tolerances/ limits of test values	Reference to
6.2	Dielectric tests				
6.2.6.1 and 6.2.7.1	Power-frequency voltage tests	Test voltage (r.m.s. value)	Rated short-duration power-frequency withstand voltage	± 1 %	IEC 62271-1, IEC 60060
		Frequency	--	45 Hz to 65 Hz	IEC 60060
		Wave shape	Peak value / r.m.s. value = $\sqrt{2}$	± 5 %	
6.2.6.2 and 6.2.7.3	Lightning impulse voltage tests	Peak value	Rated lightning impulse withstand voltage	± 3 %	
		Front time	1,2 µs	± 30 %	
		Time to half-value	50 µs	± 20 %	
6.2.7.2	Switching impulse voltage tests	Peak value	Rated switch impulse withstand voltage	± 3 %	
		Time-to-peak	250 µs	± 20 %	
		Time to half-value	2 500 µs	± 60 %	
6.2.11	Voltage tests as condition check using standard switching impulse voltage	Peak value of switching impulse voltage	See 6.2.11	± 3 %	IEC 60060
		Time-to-peak	250 µs	± 20 %	
		Time of half-value	2 500 µs	± 60 %	
		Peak value of switching impulse voltage	See 6.2.11	± 3 %	
	Using TRV circuit of T10	Time to peak	Standard value for T10 (see Tables 26 and 27 of IEC 62271-100)	+200 % -10 %	
6.3	Radio interference voltage tests	Test voltage	See 6.3 of IEC 62271-1	± 1 %	IEC 60060
6.4	Measurement of the resistance of the main circuit	DC test current I_{DC}	--	$50 A \leq I_{DC} \leq$ rated normal current	IEC 62271-1

Table A.1 (continued)

Subclause	Designation of the test	Test quantity	Specified test value	Test tolerances/ limits of test values	Reference to
6.5	Temperature-rise tests	Ambient air velocity	--	≤0,5 m/s	IEC 62271-1
		Test current frequency	Rated frequency	+2 % -5	
		Test current	Rated normal current	+2 % 0	
				These limits shall be kept only for the last two hours of the testing period	
				+10 °C < T < 40 °C	
6.6	Short-time withstand current and peak withstand current tests	Ambient air temperature T	--		IEC 62271-1
		Test frequency	Rated frequency	± 10 %	
		Peak current (in one of the outer phases)	Rated peak withstand current	+5 % 0	
		Average of a.c. component of three-phase test current	Rated short-time withstand current	±5 %	
		AC component of test current in any phase/average	1	±10 %	
		Short-circuit current duration	Rated short-circuit duration	See tolerances for I ² t	
		Value of I ² t	Rated value I ² t	+10 % 0	
6.101.3	Low and high temperature tests	Deviation of ambient air temperature over height of test object	--	≤ 5 K	
		Ambient air temperature for recording characteristics before test	20 °C	±5 K	
		Minimum and maximum ambient air temperature during tests	According to class of by-pass switch (see IEC 62271-1)	±3 K	
		Maximum temperature of a cycle	40 °C	±2 K	
		Forces	As specified in 6.101.6	+10 % 0	
6.101.6	Guide for static terminal load test				

Table A.1 (continued)

Subclause	Designation of the test	Test quantity	Specified test value	Test tolerances/ limits of test values	Reference to
6.104	By-pass making current test-duty	Applied voltage before making	U_{PL}	+5 % 0	6.104.3
		Rated by-pass making current	I_{BP}	+5 % 0	6.104.4
		Capacitor bank discharge current	$I_{DISCHARGE}$	+5 % 0	6.104.4
		Frequency of the rated by-pass making current	f_{BP}	As close as possible to the required value. Shall not be lower than 77 % of the service condition and not higher than 6 000 Hz	6.104.4
		Damping factor of the rated by-pass making current	I_2 / I_1	Equal to or greater than service condition	6.104.2
6.105	Insertion current test-duty	Test current at power frequency	I_{INS}	±20 %	6.105.4
		Frequency of the test current	From 49 Hz to 61 Hz		6.105.1
		Transient recovery voltage, peak value	U_{PL}	0 %, +5 %	6.105.3
		Time-to-peak of the transient recovery voltage	Specified value	±5 %	6.105.1
		Amplitude of the initial voltage jump of the "1-cos" waveshape		≤ 5 % of the peak of the transient recovery voltage	6.105.2
		r.m.s. current value/r.m.s. current value of fundamental	≤ 1,2		6.105.3
		Waveshape of the recovery voltage	Maximum instantaneous deviation over theoretical test voltage waveshape of the corresponding "1-cos curve" with the exception of the initial voltage jump	+3 % of the peak recovery –0 % of the peak recovery voltage u_c	6.105.1

Annex B (normative)

Records and reports of type tests

B.1 Information and results to be recorded

All relevant information and results of type tests shall be included in the type test report.

Oscillographic records, in accordance with B.2, shall be made for all by-pass making current operations and insertion current operations and no-load operations included in the type test report.

The type test report shall include a statement concerning the uncertainty of the measurement systems used for the tests. This statement shall refer to internal procedures of the laboratory through which traceability of the measuring uncertainty is established.

The type test report shall include a statement of the performance of the by-pass switch during the test duties and of the condition of the by-pass switch at the end of the series of test duties. The statement shall include the following particulars:

- a) condition of by-pass switch, giving details of any replacements or adjustments made and condition of contacts, arc control devices, oil (including any quantity lost), statement of any damage to arc shields, enclosures, insulators and bushings;
- b) description of performance during test duties, including observations regarding emission of oil, gas or flame.

B.2 Information to be included in type test reports

B.2.1 General

- a) date of tests;
- b) reference of report number;
- c) test numbers;
- d) oscillogram numbers.

B.2.2 Apparatus tested

Subclause 6.1.3 of IEC 62271-1 is applicable.

Reference drawing numbers given in the test report shall indicate the manufacturer's reference number, revision number and corresponding contents.

The reference mechanical characteristic, if applicable, shall be included or reference shall be made in the test report by the use of a drawing number or in an equivalent way.

B.2.3 Rated characteristics of by-pass switch, including its operating devices and auxiliary equipment

The values of rated characteristics specified in Clause 4 shall be given by the manufacturer.

B.2.4 Test conditions (for each series of tests; if applicable)

- a) number of poles;
- b) power factor;
- c) frequency, in Hz;
- d) generator neutral (earthed or isolated);
- e) transformer neutral (earthed or isolated);
- f) diagram of test circuit including connection(s) to earth;
- g) details of connection of by-pass switch to the test circuit (e.g. orientation);
- h) pressure of fluid for insulation and/or by-passing and insertion;
- i) pressure of fluid for operation.

B.2.5 Short-time withstand current and peak withstand current test

- a) current
 - 1) r.m.s. value in kA,
 - 2) peak value in kA;
- b) duration, in s;
- c) behaviour of by-pass switch during tests;
- d) condition after tests;
- e) resistance of the main circuit before and after tests, in $\mu\Omega$.

B.2.6 No-load operation

- a) before each by-passing and insertion test set (see 6.102.6);
- b) after the last insertion test set (see 6.102.9.2);
- c) before and after the short-time withstand current and peak withstand current test.

B.2.7 By-pass making current test-duty

- a) applied voltage, in kV;
- b) peak making current, in kA;
- c) frequency in Hz;
- d) damping ratio;
- e) closing time, in ms;
- f) pre-arcing time, in ms;
- g) by-pass time, in ms;
- h) behaviour of by-pass switch during tests;
- i) condition after tests.

B.2.8 Insertion current test-duty

- a) breaking current, in A;
- b) transient recovery voltage, peak value, in kV;
- c) time to transient recovery voltage peak value, in ms;
- d) details on point-of-wave setting;
- e) arcing time, in ms;

- f) number of restrikes (if any), the occurrence of NSDDs (if any) shall be noted for vacuum by-pass and insertion units;
- g) behaviour of by-pass switch during tests;
- h) condition after tests.

B.2.9 Oscillographic and other records

Oscillograms shall record the whole of the operations. The following quantities shall be recorded. Certain of these quantities may be recorded separately from the oscillograms, and several oscillographs with different time scales may be necessary:

- a) applied voltage;
- b) current in each pole;
- c) recovery voltage (voltage across the by-pass switch);
- d) current in closing coil;
- e) current in opening coil;
- f) amplitude and timing scale appropriate for the required accuracy;
- g) mechanical travel characteristics (where applicable).

All cases in which the requirements of this standard are not strictly complied with and all deviations shall be explicitly mentioned at the beginning of the test report.

Annex C (informative)

List of symbols and abbreviations used

Symbol/ abbreviation	Exemplary reference	Meaning
A, a	Table 6	Designation of a terminal of a by-pass switch
A	6.101.6.2	Direction of horizontal force
A ₁	Figure 6	Direction of horizontal force
A ₂	Figure 6	Direction of horizontal force
B, b	Table 6	Designation of a terminal of a by-pass switch
B ₁	6.101.6.2	Direction of horizontal force
B ₂	6.101.6.2	Direction of horizontal force
β	Annex F	Damping of the oscillation between the capacitance of the series capacitor bank and the line inductance
C, c	Table 6	Designation of a terminal of a by-pass switch
C	4.101	Closing operation
C ₁	6.101.6.2	Direction of vertical force
C ₂	6.101.6.2	Direction of vertical force
C – t – OC	4.101	Close-open-close operating cycle
C _N	3.8.3	Rated capacitance
F	Table 6	Designation of the frame of a by-pass switch
f _{BP}	4.102	Frequency of the rated by-pass making current
f _r	4.3	Rated frequency
F _{shA}	6.101.6.1	Terminal load, horizontal force
F _{shB}	6.101.6.1	Terminal load, horizontal force
F _{sv}	6.101.6.1	Terminal load, vertical force
F _{th}	Table 4	Static horizontal force
F _{thA}	Table 4	Static horizontal force, longitudinal
F _{thB}	Table 4	Static horizontal force, transversal
F _{wh}	Figure 5	Force due to wind and ice-coating
F _{tv}	Table 4	Static vertical force
I ₁	Table A.1	First current peak during by-pass making current test-duty
I ₂	Table A.1	Second current peak (of the same polarity than I ₁) during by-pass making current test-duty
I _{BP}	4.102	Rated by-pass making current
I _{DISCHARGE}	3.8.28	Capacitor bank discharge current
I _{INS}	4.103	Rated by-pass insertion current
I _k	4.5	Rated short-time withstand current
I _{load}	Annex F	Actual insertion current
I _N	3.8.4	Rated current of a capacitor
I _p	4.6	Rated peak withstand current
I _r	4.4	Rated normal current
k	Annex F	Compensation factor X_c/X_L

List of symbols and abbreviations used (continued)

M	Table 1	Mass of the by-pass switch
m	Table 1	Mass of fluid for by-passing and insertion
$M1$	3.4.104	Class of by-pass switch with basic mechanical endurance
$M2$	3.4.105	Class of by-pass switch with extended mechanical endurance
O	Table 3	Opening operation
OC	4.101	Open-close operating cycle
P_{re}	Table 1	Rated pressure for by-passing and insertion
P_{rm}	Table 1	Rated pressure for operation
$T10$	6.2.11	Terminal fault test-duty (see IEC 62271-100)
t	4.101	Time interval in the rated operating sequence
t'	4.101	Time interval in the rated operating sequence
t_3	6.2.11	Time coordinate of T10 TRV
T_A	6.101.3.3	Ambient air temperature
t_a	6.101.2.3	Time between two operations for mechanical operation test at ambient air temperature
T_H	6.101.3.4	Maximum ambient air temperature
t_k	4.7	Rated duration of short-circuit
T_L	6.101.3.3	Minimum ambient air temperature
TRV	6.2.11	Transient recovery voltage
t_x	6.101.3.3	Time interval in low temperature test
$u(t)$	Annex F	Transient reinsertion voltage across the by-pass switch
U_a	4.8	Rated supply voltage of auxiliary and control circuits
U_{INS}	4.104	Rated reinsertion voltage
U_{LIM}	3.8.7	Limiting voltage
U_{op}	Table 1	Rated supply voltage of operating devices
U_N	3.8.6	Rated voltage of a capacitor
U_{pe}	Table 1	Rated lightning impulse withstand voltage to earth
U_{PL}	3.8.22	Protective level
U_{pp}	Table 1	Rated lightning impulse withstand voltage across the by-pass switch
U_r	4.1	Rated voltage
U_{re}	4.1.101	Rated voltage to earth
U_{rp}	4.1.102	Rated voltage across the by-pass switch
U_{se}	Table 1	Rated switching impulse withstand voltage to earth
U_{sp}	Table 1	Rated switching impulse withstand voltage across the by-pass switch
X_N	4.1.102	Rated reactance of the series capacitor
ω_1	Annex F	Angular frequency derived from the rated power frequency
ω_2	Annex F	Angular frequency of the undertone caused by the oscillation between the capacitance of the series capacitor bank and the line inductance

Annex D

(informative)

Examples of by-pass switch ratings

Table D.1 through D.3 illustrate case studies of typical series capacitor bank ratings used in recent projects. The tables also illustrate the corresponding by-pass switch ratings. The values given in the tables should be used as a guideline for assigning rated values to by-pass switches since specific ratings cannot be standardized because they are project specific. It should be noted that some insulation levels were specified according to IEEE standards and are given solely as examples. Values given in these tables correspond to the same nomenclature and abbreviation of the various ratings that are outlined in Clause 4.

Table D.1 – Typical ratings for a series capacitor bank by-pass switch – Cases 1 to 6

Rating	Unit	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
Rated voltage to earth U_{re}	kV r.m.s.	500	500	500	500	500	500
Line maximum system voltage	kV r.m.s.	560	560	560	560	560	560
Capacitor bank rated voltage U_N	kV r.m.s.	101,3	63,9	63,5	70,4	69,9	94,8
Overload voltage	kV r.m.s.	136,8	86,3	81,3	87,3	86,7	117,5
Protective level U_{PL}	kV peak	310,9	225,9	195,7	204	197,7	268,1
Rated frequency f_r	Hz	60	60	60	60	60	60
Rated normal current I_r	A r.m.s.	4 000	4 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Rated 30 min current	A r.m.s.	5 400	5 400	4 050	4 050	4 050	4 050
Swing current (max. 30 s)	A r.m.s.						
Insulation levels to earth							
- Rated lightning impulse withstand voltage, U_{pe}	kV r.m.s.	710	710	710	710	860	860
- Rated power-frequency withstand voltage, dry, 1 min U_{de}	kV r.m.s.						
- Rated power-frequency withstand voltage, wet, 10 s U_{de}	kV peak	1 050	1 050	1 050	1 050	1 175	1 175
- Rated switching impulse withstand voltage, U_{se}	kV peak	1 550	1 550	1 550	1 550	1 800	1 800
Insulation levels between terminals							
- Rated power-frequency withstand voltage, dry, 1 min. U_{dp}	kV r.m.s.	425	260	310	310	310	365
- Rated power-frequency withstand voltage, wet, 10 s U_{dp}	kV r.m.s.	350	230	275	275	275	315
- Rated lightning impulse withstand voltage, U_{pp}	kV peak	900	550	650	650	650	750
Short time current withstand							
- Rated short-time withstand current I_k	kA r.m.s.	63	40	40	40	40	40
- Rated duration of short-circuit t_k	s	3	3	3	3	3	3
- Rated peak withstand current I_p	kA peak	164	128	128	128	128	128
Rated operating sequence		O-C-t-OC-t-O- O-t'-C-t-OC	C-t-OC-t-O- t'-C-t-OC	C-t-OC-t-O- t'-C-t-OC	C-t-OC-t-O- t'-C-t-OC	C-t-OC-t-O- t'-C-t-OC	C-t-OC-t-O- t'-C-t-OC
- t	s	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
- t'	s	30	30	30	30	30	30
Maximum closing time	ms	34	34	34	34	34	34
Maximum opening time	ms	50	50	50	50	50	50

Table D.1 (continued)

Rating	Unit	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
Insertion current							
- Rated by-pass insertion current I_{INS}	A r.m.s.	5 400	4 050	3 240	3 240	3 240	4 250
- Rated reinsertion voltage U_{INS}	kV peak	310,9	225,9	195,7	204	197,7	268,1
- Reinsertion voltage, first time-to-peak	Ms	8	8	8	8	8	8
By-pass making current under normal operating condition							
- Capacitor bank discharge current component $I_{\text{DISCHARGE}}$	kA peak	37	28	21	23	23	25
- Power-frequency current	kA peak	5,7	4,5	4,2	4,1	4,0	4,0
- By-pass making current	kA peak	42,7	32,5	25,2	27,1	27,0	29,0
- Frequency of the by-pass making current f_{BP}	Hz	385,2	509,4	408,1	470,5	471,2	530,2
- Applied voltage	kV peak	143,3	90,4	89,8	99,6	98,9	134,1
By-pass making current under fault condition							
- Capacitor bank discharge current component $I_{\text{DISCHARGE}}$	kA peak	80	71	52	56	57	67
- Power-frequency fault current	kA peak	65	34	27	21	24	24
- By-pass making current	kA peak	139	105	79	77	81	91
- Frequency of the by-pass making current f_{BP}	Hz	385,2	509,4	408,1	470,5	471,2	530,2
- Applied voltage	kV peak	310,9	225,9	195,7	204	197,7	268,1
- Damping factor							
Specified electrical and mechanical endurance							
- No-load operations	CO						
- Number of operations/year at rated current	CO	20	20	20	20	20	20
- Number of operations/year under fault condition	CO	1	1	1	1	1	1
- Operations under fault condition (lifetime)	CO						

Table D.2 – Typical series capacitor bank by-pass switch ratings – Cases 7 to 12

Rating	Unit	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10	Case 11	Case 12
Rated voltage to earth U_{re}	kV r.m.s.	500	500	735	245	345	345
Line maximum system voltage	kV r.m.s.	550	550	800	245	362	362
Capacitor bank rated voltage U_N	kV r.m.s.	19,9	19,9	80	46	42,6	55,6
Overload voltage	kV r.m.s.	29,9	29,9	140	68/105		
Protective level U_{PL}	kV peak	81,6	81,6	270	148	144,4	188,6
Rated frequency f_r	Hz	60	60	60	60	60	60
Rated normal current I_r	A r.m.s.	3 150	3 150	4 000	630	2 000	2 000
Rated 30 min. current	A r.m.s.			6 000	945		
Swing current (max. 30 s)	A r.m.s.			7 000	1 103	2 700	2 700
Insulation levels to earth							
- Rated lightning impulse withstand voltage, U_{pe}	kV r.m.s.	650	650	830	450	710	710
- Rated power-frequency withstand voltage, dry, 1 min U_{de}	kV r.m.s.						
- Rated power-frequency withstand voltage, wet, 10 s U_{de}	kV peak	1 550	1 550	1 550	850	1 550	1 550
- Rated switching impulse withstand voltage, U_{se}	kV peak	1 175	1 175	2 100	1 175	1 050	1 050
Insulation levels between terminals							
- Rated power-frequency withstand voltage, dry, 1 min. U_{dp}	kV r.m.s.	110	110	230	140	145	185
- Rated power-frequency withstand voltage, wet, 10 s U_{dp}	kV r.m.s.	69,3	69,3		185 (1s)		
- Rated lightning impulse withstand voltage, U_{pp}	kV peak	200	200	550	325	350	450
Short time current withstand							
- Rated short-time withstand current I_k	kA r.m.s.	40	40	40	25	40	40
- Rated duration of short-circuit t_k	s	1	1	1	1	1	1
- Rated peak withstand current I_p	kA peak	128	128	108	65		
Rated operating sequence		O-C-t-OC-t-O- O-t'-C-t-OC	C-t-OC-t-O- t'-C-t-OC	C-t-OC-t'-OC	C-t-OC-t'-OC	C-O-C-t'-O-C	C-O-C-t'-O-C
- t	s	0,3	0,3	0,3	0,3		
- t'	s	30	30	15	15	30	30
Maximum closing time	ms	34	34	100	50	30	30
Maximum opening time	ms						

Table D.2 (continued)

Rating	Unit	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10	Case 11	Case 12
Insertion current							
- Rated insertion current I_{INS}	A r.m.s.	4 800	4 800	4 000	400	3 000	3 000
- Rated reinsertion voltage U_{INS}	kV peak	81,6	81,6	270	148		
- Reinsertion voltage, first time-to-peak	ms	4	4	4	4		
By-pass making current under normal operating condition							
- Capacitor bank discharge current $I_{\text{DISCHARGE}}$	kA peak	18,3	18,3	30	23	37	37
- Power-frequency current	kA peak			4	0,6		
- By-pass making current	kA peak			34	24	37	37
- Frequency of the by-pass making current f_{BP}	Hz	708	744	1 000	840	900	900
- Applied voltage	kV peak	28,1	28,1	115	65,1	60,2	78,6
By-pass making current under fault condition							
- Capacitor bank discharge current $I_{\text{DISCHARGE}}$	kA peak	75	75	70	52	85	85
- Power-frequency fault current	kA peak	65	65	5,6	8	15	15
- By-pass making current	kA peak	140	140	75,6	60	100	100
- Frequency of the by-pass making current f_{BP}	Hz	708	744	1 000	840	900	900
- Applied voltage	kV peak	81,6	81,6	270	148	144,4	188,6
- Damping factor				0,5	0,5		
Specified electrical and mechanical endurance							
- No-load operations	CO			2 000	2 000		
- Number of operations/year at rated current	CO	5	5	15	20		
- Number of operations/year under fault condition	CO			5	10		
- Operations under fault condition (lifetime)	CO	1	1	150	300		

Table D.3 – Typical series capacitor bank by-pass switch ratings – Cases 13 to 18

Rating	Unit	Case 13	Case 14	Case 15	Case 16	Case 17	Case 18
Rated voltage to earth U_{re}	kV r.m.s.	500	500	400	400	500	500
Line Maximum system voltage	kV r.m.s.	550	550	460	460	550	550
Capacitor bank rated voltage U_N	kV r.m.s.	65,4		33,8	33,8	61,7	170
Overload voltage	kV r.m.s.			45,6	45,6		
Protective level U_{pL}	kV peak	212,7		110	110	200,6	383
Rated frequency f_r	Hz	60	50	60	60	50	60
Rated normal current I_r	A r.m.s.	3 000	3 150	2 000	2 000	2 500	3 000
Rated 30 min. current	A r.m.s.	4 500					
Swing current (max. 30 s)	A r.m.s.	5 700					
Insulation levels to earth							
- Rated lightning impulse withstand voltage, U_{pe}	kV r.m.s.	710		860	860	680	860
- Rated power-frequency withstand voltage, dry, 1 min U_{de}	kV r.m.s.						775
- Rated power-frequency withstand voltage, wet, 10 s U_{de}	kV peak	1 800	1 500	1 550	1 550	1 550	1 550
- Rated switching impulse withstand voltage, U_{se}	kV peak					1 175	1 175
Insulation levels between terminals							
- Rated power-frequency withstand voltage, dry, 1 min. U_{dp}	kV r.m.s.	185					325
- Rated power-frequency withstand voltage, wet, 10 s U_{dp}	kV r.m.s.						
- Rated lightning impulse withstand voltage, U_{pp}	kV peak	450					750
Short time current withstand							
- Rated short-time withstand current I_k	kA r.m.s.	40	50	40	40	50	40
- Rated duration of short-circuit t_k	s	1	3	3	3	3	1
- Rated peak withstand current I_p	kA peak		125	100	100	125	108
Rated operating sequence		(O)-C-O-C	C-O-C- t' -O-C	O- t -CO- t' -CO	O- t -CO- t' -CO	C-O-C- t' -O-C	C-O-C- t' -O-C
- t	s			0,3	0,3		
- t'	s		30	30	30	30	30
Maximum closing time	ms	< 35	< 50	36	36		< 50
Maximum opening time	ms		< 50				< 50

Table D.3 (continued)

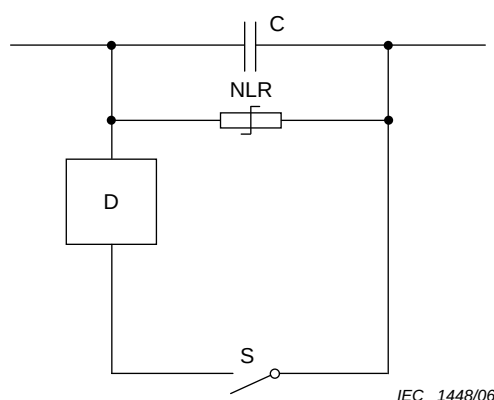
Rating	Unit	Case 13	Case 14	Case 15	Case 16	Case 17	Case 18
Insertion current							
- Rated insertion current I_{INS}	A r.m.s.	4 500	3 150			3 600	3 650
- Rated reinsertion voltage U_{INS}	kV peak					200,6	383
- Reinsertion voltage, first time-to-peak	ms					6,7	8,3
By-pass making current under normal operating condition							
- Capacitor bank discharge current $I_{\text{DISCHARGE}}$	kA peak	40				52,8	
- Power-frequency current	kA peak	15					
- By-pass making current	kA peak	55				52,8	
- Frequency of the by-pass making current f_{BP}	Hz	430				620	680
- Applied voltage	kV peak	92,5				123,3	240,4
By-pass making current under fault condition							
- Capacitor bank discharge current $I_{\text{DISCHARGE}}$	kA peak	70		68	68	80,9	91
- Power-frequency fault current	kA peak	30		40	40	24,7	
- By-pass making current	kA peak	100		108	108	105,6	108
- Frequency of the by-pass making current f_{BP}	Hz	430		1 048	1 048	620	680
- Applied voltage	kV peak	150,4		110	110	200,6	383
- Damping factor						0,3	
Specified electrical and mechanical endurance							
- No-load operations	CO		5 000			6 000	
- Number of operations/year at rated current	CO						
- Number of operations/year under fault condition	CO						
- Operations under fault condition (lifetime)	CO						

Annex E

(informative normative)

By-pass switches used as the primary by-passing devices

By-pass switches are sometimes used as the primary protection of the overvoltage protector of the series capacitor bank (e.g. without the use of a fast by-passing device such as a spark-gap) for cases where the power-frequency fault current is relatively low (capacitor banks generally located in the middle of the line length) or where the use of a spark-gap could result in non-reliable operation of the spark-gap. For such series capacitor schemes, the varistor bank is designed to absorb the resulting energy produced by a line fault until the by-pass switch is closed. Figure E.1 illustrates the typical components layout.



Key

C	series capacitor
NLR	non linear resistor (varistor)
D	damping circuit
S	by-pass switch

Figure E.1 – Typical component layout for by-pass switches used as the primary by-passing device

For this particular application, the requirements stated in this standard also apply with the following addition.

~~In such configuration,~~ The by-pass switch will be subjected, for all line faults, to the capacitor bank discharge current component ($I_{\text{DISCHARGE}}$) and to the power-frequency fault current. For schemes using fast by-passing devices (for example spark-gap), ~~this these types~~ of stresses are not frequent since they are almost always seen by the fast by-passing device and not by the by-pass switch.

~~For such applications and because of this increased electrical duty, it may be necessary to specify a greater number of making operations during the by-pass making current test duty (see 6.104). The number of operations should be determined based on the expected number of line faults per year, the required service time before maintenance and associated electrical parameters. If such an increase duty is required, it should be clearly notified in the enquiry.~~

Test parameters of already performed by-pass making current tests can be used to qualify a by-pass switch for this specific application as follows:

- A by-pass switch has been tested following alternative 1 (see 6.104.5) at a by-pass making current I_{BP} . This by-pass switch can be used as a primary by-passing device in an installation having a by-pass making current of up to the tested I_{BP} .
- A by-pass switch has been tested following alternative 2 (see 6.104.5) at a by-pass making current I_{BP} and a discharge current $I_{DISCHARGE}$. The tested parameters result in an equivalent I_{BPE} for gapless application as follows:

$$(I_{BP})^2 \times 4 + (I_{DISCHARGE})^2 \times 20 = (I_{BPE})^2 \times 20 \rightarrow I_{BPE} = \sqrt{\frac{(I_{BP})^2}{5} + (I_{DISCHARGE})^2}$$

Example: A by-pass switch has been tested following alternative 2 (see 6.104.5) at a by-pass making current of 120 kA and a discharge current of 70 kA. The tested parameters give an equivalent I_{BPE} for gapless application as follows:

$$(120)^2 \times 4 + (70)^2 \times 20 = (I_{BPE})^2 \times 20 \rightarrow I_{BPE} = 88,2 \text{ kA.}$$

This by-pass switch can be used as the primary by-passing device in an installation having a by-pass making current of up to 88,2 kA.

Annex F (informative)

Explanatory note regarding transient recovery voltage during reinsertion

When a by-pass switch reinserts a series capacitor bank, the transient reinsertion voltage appearing across the open contacts of the by-pass switch is function of the load current at power frequency, including any power swing and emergency load current, if applicable, and the transient damped oscillatory current produced by the resonance of the capacitive impedance and line impedance. This transient voltage across the by-pass switch can be determined the following equation:

$$u(t) = U_N \times \sqrt{2} \times (\cos \omega_1 t - e^{-\beta t} \cos \omega_2 t) \times I_{\text{load}} / I_N$$

where

- $u(t)$ is the transient reinsertion voltage across the by-pass switch;
- U_N is the rated voltage of the series capacitor bank (r.m.s. value);
- ω_1 is the angular frequency derived from the rated power frequency;
- t is the time, in s;
- β is the damping of the oscillation between the capacitance of the series capacitor bank and the line inductance, usually between 0,8 and 0,9;
- ω_2 is the angular frequency of the undertone caused by the oscillation between the capacitance of the series capacitor bank and the line inductance

$$\omega_2 = \omega_1 \times \sqrt{k}$$

and

$$k = X_C / X_L$$

- k is the compensation factor;
- I_{load} is the actual insertion current of the series capacitor bank (r.m.s. value);
- I_N is the rated current of the series capacitor bank (r.m.s. value).
- X_C is the capacitive reactance in Ω of the series capacitor bank ($X_C = 1/\omega_1 C$);
- X_L is the inductive reactance in Ω of the series compensated line ($X_L = \omega_1 L$);
- C is the capacitance of the series capacitor bank;
- L is the inductance of the series compensated line.

In IEC 60143-1, typical emergency overload currents range from 1,2 p.u. to 1,6 p.u. and power swings range from 1,7 p.u. to 2,5 p.u. According IEC 60143-1, typical compensation factors range from 0,2 p.u. to 0,8 p.u. and protective levels U_{PL} range from between 2,0 p.u. and 2,5 p.u.

The combined effect of the undertone frequency, load current, including emergency and power swing currents and the operation level (U_{PL}) of the non-linear, voltage-limiting device (varistors) may cause the first voltage peak of the transient reinsertion voltage across the by-pass switch to be earlier than half of the power-frequency period e.g. 10 ms for 50 Hz systems or 8,3 ms for 60 Hz systems.

The protective level in p.u. is defined as $U_{PL} / (U_N / \sqrt{2})$ with U_{PL} being a peak value and U_N being a r.m.s. value.

Therefore, the reinsertion voltage given in p.u. of the rated capacitor peak voltage is given by:

$$u(t) \text{ p.u.} = (\cos \omega_1 t - e^{-\beta t} \cos \omega_2 t) \times I_{\text{load}} / I_N$$

Tables F.1 through F.16 illustrate some examples.

**Table F.1 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing nor emergency overload,
 $I_{\text{load}} = 1,0$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz**

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	1,26	8,6	No
0,3	1,00	8,2	No
0,4	0,79	7,8	No
0,5	0,61	7,5	No
0,6	0,46	7,3	No
0,7	0,32	7,1	No
0,8	0,20	6,9	No

**Table F.2 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing but with an emergency overload,
 $I_{\text{load}} = 1,2$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz**

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	1,51	8,6	No
0,3	1,20	8,2	No
0,4	0,95	7,8	No
0,5	0,74	7,5	No
0,6	0,55	7,3	No
0,7	0,39	7,1	No
0,8	0,25	6,9	No

**Table F.3 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing but with an emergency overload,
 $I_{\text{load}} = 1,4$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz**

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	1,76	8,6	No
0,3	1,40	8,2	No
0,4	1,11	7,8	No
0,5	0,86	7,5	No

0,6	0,64	7,3	No
0,7	0,45	7,1	No
0,8	0,29	6,9	No

**Table F.4 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing but with an emergency overload,
 $I_{load} = 1,6$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz**

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	2,01	8,6	No
0,3	1,60	8,2	No
0,4	1,27	7,8	No
0,5	0,98	7,5	No
0,6	0,73	7,3	No
0,7	0,52	7,1	No
0,8	0,33	6,9	No

Table F.5 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 1,8$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	2,20	7,8	Yes
0,3	1,80	8,2	No
0,4	1,43	7,8	No
0,5	1,10	7,5	No
0,6	0,83	7,3	No
0,7	0,58	7,1	No
0,8	0,37	6,9	No

Table F.6 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 2,0$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	2,20	6,7	Yes
0,3	2,01	8,2	No
0,4	1,58	7,8	No
0,5	1,23	7,5	No
0,6	0,92	7,3	No
0,7	0,65	7,1	No
0,8	0,41	6,9	No

Table F.7 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 2,3$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	2,20	5,9	Yes
0,3	2,20	7,2	Yes
0,4	1,82	7,8	No
0,5	1,41	7,5	No
0,6	1,05	7,3	No
0,7	0,74	7,1	No
0,8	0,47	6,9	No

Table F.8 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 2,5$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 50$ Hz

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	2,20	5,6	Yes
0,3	2,20	6,4	Yes
0,4	1,98	7,8	No
0,5	1,53	7,5	No
0,6	1,15	7,3	No
0,7	0,81	7,1	No
0,8	0,51	6,9	No

Table F.9 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing nor emergency overload, $I_{load} = 1,0$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 60$ Hz

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	1,26	7,2	No
0,3	1,00	6,8	No
0,4	0,79	6,5	No
0,5	0,61	6,3	No
0,6	0,46	6,1	No
0,7	0,32	5,9	No
0,8	0,20	5,7	No

**Table F.10 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing but with an emergency overload,
 $I_{\text{load}} = 1,2 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85$ and $f = 60 \text{ Hz}$**

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	1,51	7,2	No
0,3	1,20	6,8	No
0,4	0,95	6,5	No
0,5	0,74	6,3	No
0,6	0,55	6,1	No
0,7	0,39	5,9	No
0,8	0,25	5,7	No

**Table F.11 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing but with an emergency overload,
 $I_{\text{load}} = 1,4 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85$ and $f = 60 \text{ Hz}$**

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	1,76	7,2	No
0,3	1,40	6,8	No
0,4	1,11	6,5	No
0,5	0,86	6,3	No
0,6	0,64	6,1	No
0,7	0,45	5,9	No
0,8	0,29	5,7	No

**Table F.12 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems not having power swing but with an emergency overload,
 $I_{\text{load}} = 1,6 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85$ and $f = 60 \text{ Hz}$**

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	2,01	7,2	No
0,3	1,60	6,8	No
0,4	1,27	6,5	No
0,5	0,98	6,3	No
0,6	0,73	6,1	No
0,7	0,52	5,9	No
0,8	0,33	5,7	No

Table F.13 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 1,8$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 60$ Hz

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	2,20	6,5	Yes
0,3	1,80	6,8	No
0,4	1,43	6,5	No
0,5	1,10	6,3	No
0,6	0,83	6,1	No
0,7	0,58	5,9	No
0,8	0,37	5,7	No

Table F.14 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 2,0$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 60$ Hz

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	2,20	5,6	Yes
0,3	2,01	6,8	No
0,4	1,58	6,5	No
0,5	1,23	6,3	No
0,6	0,91	6,1	No
0,7	0,65	5,9	No
0,8	0,41	5,7	No

Table F.15 – Typical examples of transient reinsertion voltages for systems having power swing, $I_{load} = 2,3$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 60$ Hz

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	2,20	4,9	Yes
0,3	2,20	6,0	Yes
0,4	1,82	6,5	No
0,5	1,41	6,3	No
0,6	1,05	6,1	No
0,7	0,74	5,9	No
0,8	0,47	5,7	No

Table F.16 – Typical examples of reinsertion recovery voltages for systems having power swing, $I_{load} = 2,5$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ and $f = 60$ Hz

Compensation factor k	Transient reinsertion voltage, first peak p.u.	Time to the first peak ms	Non linear device conduction at first voltage peak
0,2	2,20	4,6	Yes
0,3	2,20	5,4	Yes
0,4	1,98	6,5	No
0,5	1,53	6,3	No
0,6	1,15	6,1	No
0,7	0,81	5,9	No
0,8	0,51	5,7	No

Based on these values, the following conclusion can be given:

- For series capacitor schemes having a low compensation factor ($k \leq 0,3$), the first transient reinsertion voltage peak across the by-pass switch is significant and can reach the varistor protective level (U_{PL}) for typical emergency overload or power swing ranges given in IEC 60143-1. The first voltage peak can be attained in relatively short time after current zero (less than $\frac{1}{2}$ of the power-frequency period).
- For series capacitor schemes having a relatively high compensation factor ($k > 0,3$), the first transient reinsertion voltage peak across the by-pass switch is lower and cannot reach the varistor protective level (U_{PL}) for typical emergency overload or power swing ranges given in IEC 60143-1. Nevertheless, for such schemes, the varistor protective level (U_{PL}) is reached on the following reinsertion voltage loops and the by-pass switch should be designed to withstand the varistor protective level.

Figures F.1 and F.2 give examples of typical recovery voltage waveshapes.

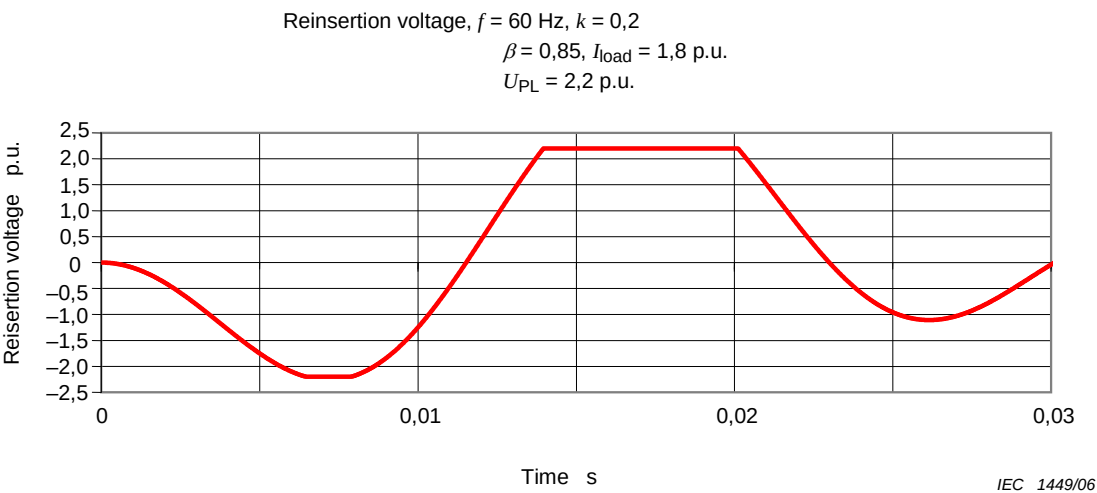


Figure F.1 – Typical example of the transient reinsertion voltage across a by-switch for a low compensation factor scheme ($k = 0,2$) and for a power swing of 1,8 p.u.

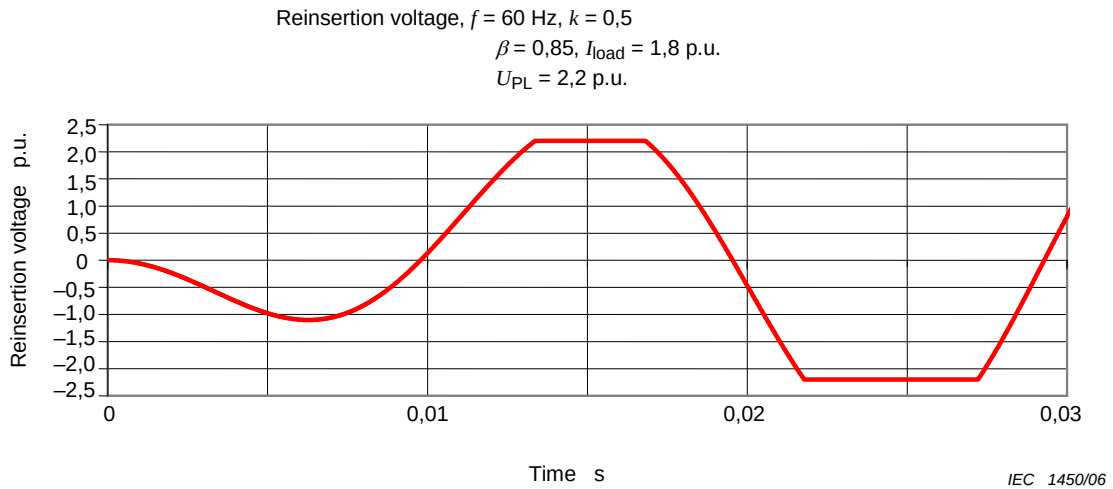


Figure F.2 – Typical example of the transient reinsertion voltage across a by-switch for an high compensation factor scheme ($k = 0,5$) and for a power swing of 1,8 p.u.

The cases shown in Tables F.1 through F.16 have been compiled in Figures F.3 and F.4, for 50 Hz and 60 Hz system frequencies, respectively. Different transient reinsertion voltage envelopes have been superimposed.

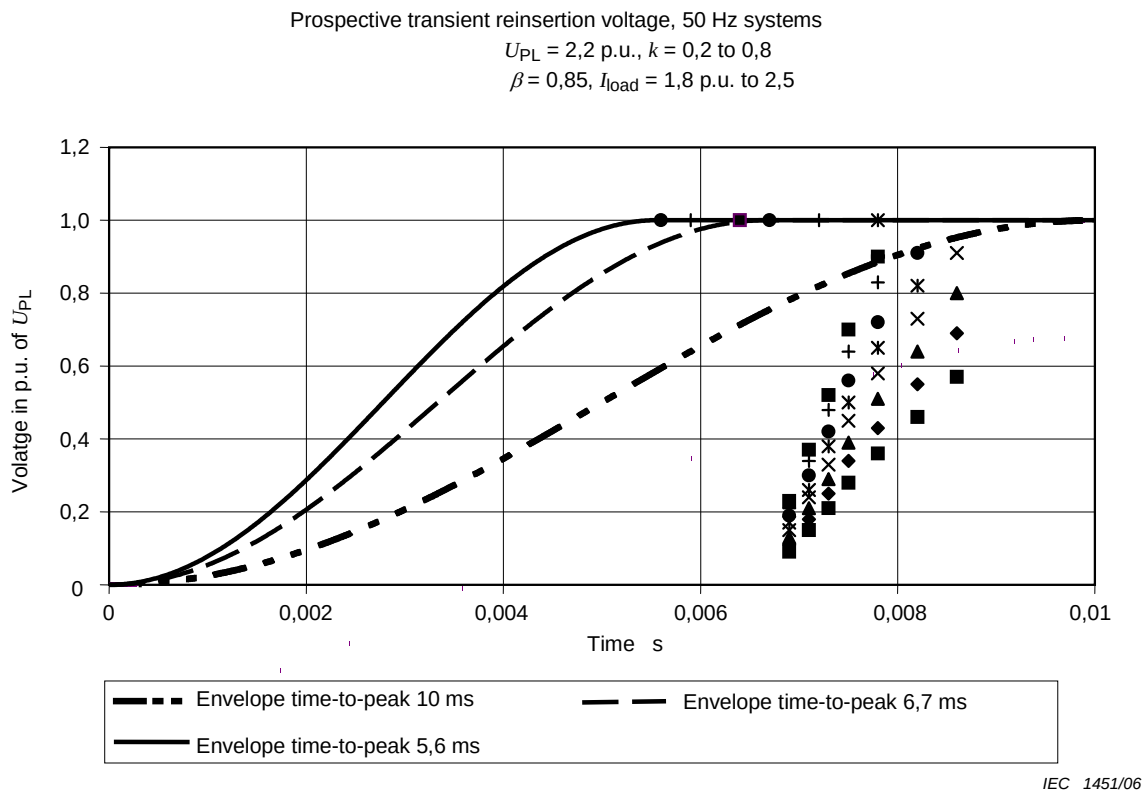


Figure F.3 – Comparison of the calculated transient reinsertion voltage examples and possible testing envelopes for 50 Hz systems

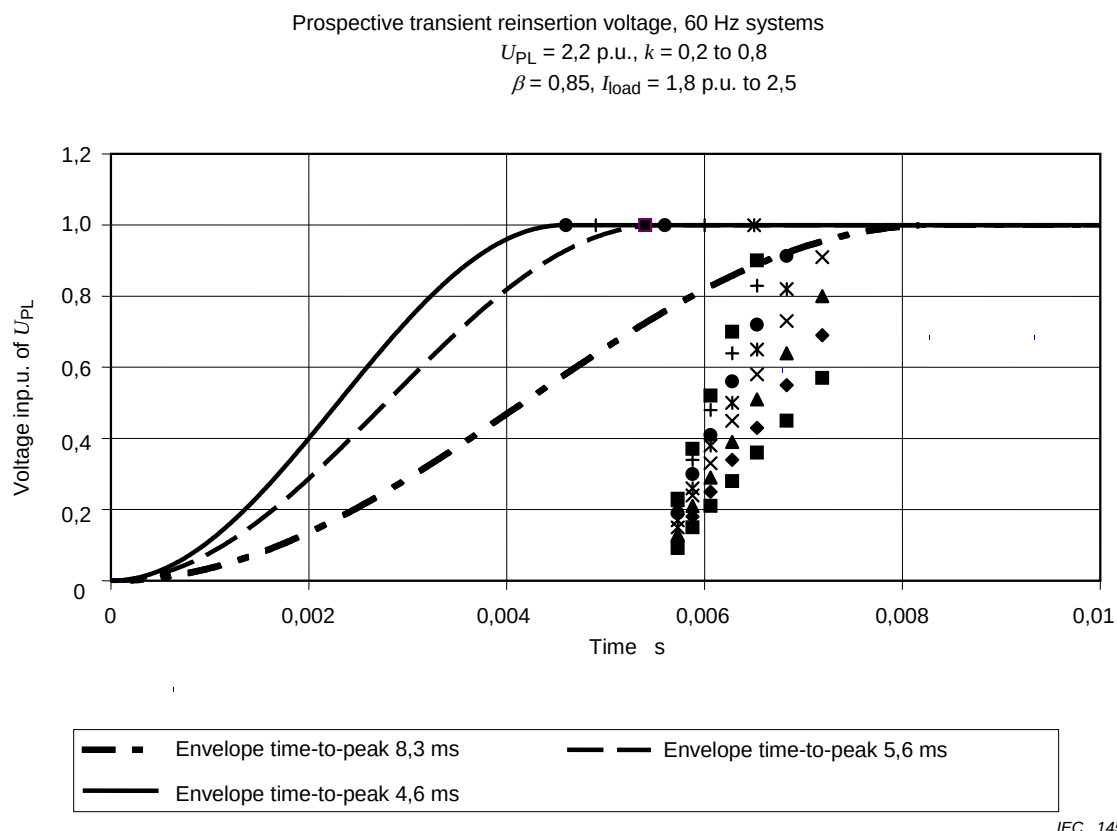


Figure F.4 – Comparison of the calculated transient reinsertion voltage examples and possible testing envelopes for 60 Hz systems

Based on the data shown in Figures F.3 and F.4, the following conclusions can be given:

- with the preferred reinsertion voltage first time-to-peak of 5,6 ms given in 4.104, 100 % of the computed examples will be covered for 50 Hz systems;
- with a reinsertion voltage first time-to-peak of 6,7 ms, 95 % of the computed examples will be covered for 50 Hz systems;
- with a reinsertion voltage first time-to-peak of 10 ms, 88 % of the computed examples will be covered for 50 Hz systems;
- with the preferred reinsertion voltage first time-to-peak of 5,6 ms given in 4.104, 95 % of the computed examples will be covered for 60 Hz systems;
- with a reinsertion voltage first time-to-peak of 4,6 ms, 100 % of the computed examples will be covered for 60 Hz systems;
- with a reinsertion voltage first time-to-peak of 8,3 ms, 89 % of the computed examples will be covered for 60 Hz systems.

Based on these results, the preferred first-time-to-peak value (5,6 ms) given in 4.104 will cover most of the practical cases for 50 Hz and 60 Hz and may be used as a uniform value for standardization purposes and for limiting the number of type tests required to a minimum. Nevertheless, this value may be too restrictive for certain schemes (e.g. high compensation factors $k > 0,3$ or low emergency current or low power swing) and a higher first time-to-peak value may be specified in order to get a more economical solution regarding the by-pass switch reinsertion capabilities.

If a different value than the preferred first time-to-peak value of the transient reinsertion voltage is specified, it should be supported by detailed system studies and the study should consider emergency overloads and power swings as well as the actual value of the varistor protective level associated with the load currents during emergency overloads and power swings.

Annex G (normative)

Use of mechanical characteristics and related requirements

At the beginning of the type tests, the mechanical characteristics of the by-pass switch shall be established, for example, by recording no-load travel curves. This may be done also by the use of characteristic parameters, for example momentary speed at a certain stroke etc. The mechanical characteristics will serve as the reference for the purpose of characterising the mechanical behaviour of the by-pass switch.

The mechanical characteristics shall be used to confirm that the different test samples used during the mechanical, by-passing and insertion tests behave mechanically in a similar way. All test samples used for mechanical, by-passing and insertion tests shall have a mechanical characteristic within the following described envelopes. Care should be exercised in the interpretation of the curves when, due to variable measuring methods at different laboratories, a direct comparison between the envelopes cannot be made.

The type and location of the sensor used for the record of the mechanical characteristics shall be stated in the test report. The mechanical characteristic curve which can be measured at any part of the kinematic chain may be recorded continuously or discretely. In case of discrete measurement, at least 20 discrete values should be given for the complete stroke.

The mechanical characteristics shall be used for determining the limits of the allowable deviations over or under this reference curve. From this reference curve, two envelope curves shall be drawn from the instant of contact separation to the end of the contact travel for the opening operation and from the beginning of the contact travel to the instant of contact touch for the closing operation. The distance of the two envelopes from the original course shall be $\pm 5\%$ of the total stroke as shown in Figure 8. In case of by-pass switches with a total stroke of 40 mm or less the distance of the two envelopes from the original course shall be ± 2 mm. It is recognised that for some designs of by-pass switches, these methods may be unsuitable, as for example for vacuum by-pass switches. In such cases the manufacturer shall define an appropriate method to verify the proper operation of the by-pass switch.

If mechanical characteristics other than curves are used, the manufacturer shall define the alternative method and the tolerances used.

The series of Figures 7 through 10 are for illustrative purposes and only illustrate the opening operation. They are idealised, and do not show the variation in profile caused by the friction effect of the contacts or the end of travel damping. In particular, it is important to note that the effects of damping are not shown in these diagrams. The oscillations produced at the end of travel are dependent upon the efficiency of the damping of the drive system. The shape of these oscillations may be a deliberate function of the design and may slightly vary from one specimen to another. Therefore, it is important that any variations in the curve at the end of the stroke, which are outside the tolerance margin given by the envelope, are fully explained and understood before they are rejected or accepted as showing equivalence with the reference curves. In general, all curves should fall within the envelopes for acceptance.

The envelopes can be moved in the vertical direction until one of the curves covers the reference curve. This gives maximum tolerances over the mechanical characteristics of -0% , $+10\%$ and -10% , $+0\%$, respectively as shown in Figures 9 and 10. The displacement of the envelope can be used only once for the complete procedure in each test in order to get a maximum total deviation from the reference characteristic of 10% .

Table G.1 lists type tests and relevant reference mechanical characteristics for no-load, making and breaking tests.

Table G.1 – Summary of type tests related to mechanical characteristics

Applicable subclause	Tests where the records shall be taken	Evaluation method	Application/Notes
6.101.1.1 Mechanical characteristics	No-load test before the beginning of type tests	Not applicable	General guide for reference mechanical characteristics
6.101.1.3 Characteristics and setting of the by-pass switch to be recorded before and after the tests	Before and after the mechanical and environmental tests	Not applicable	List of items to be recorded
6.101.2.2 Condition of the by-pass switch before the (mechanical) test	No-load test before the mechanical test	^a	Mechanical test on separately operated single pole of a three-pole by-pass switch
6.101.2.5 Acceptance criteria for the mechanical operation test	No-load test after the mechanical test	^b	
6.101.3.3 Low temperature test	No-load test before and after the low temperature test	^b	Depending on minimum temperature class
6.101.3.4 High temperature test	No-load test before and after the high temperature test	^b	Conditional when required
6.101.6 Static terminal load test	No-load test before and after the terminal load test	^a	Refer also to the note in 6.101.6.2
6.102.3.3 Multi enclosure type	No-load test before tests	^a	For commonly operated multi-enclosure type
6.102.4.2 Unit testing	No-load test before tests	^a	For by-pass switches with two or more units not separately operated within one pole
6.102.6 No-load operation before (by-pass making and insertion) test	No-load test before tests ^d	^a	For all by-pass making and insertion tests
6.102.7 Alternative operating mechanism	No-load test before the test	^a	For equivalent alternative operating mechanisms
	By-pass making test	^c	
^a Evaluation to the method given in 6.101.1.1 and Annex G; comparison of the mechanical characteristics.			
^b Evaluation to the method given in 6.101.1.3 and 6.101.1.4.			
^c Evaluation to the method given in 6.102.7.			

Bibliography

IEC 60050-601, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

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

IEC 60071-2:1996, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

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

IEC 62271-200:2003, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 62271-203:2003, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: Gas-insulated, metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV*

IEC 62271-300:2006, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 300: Seismic qualification of alternating current circuit-breakers*

BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML: 1995, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	137
1 Généralités.....	139
1.1 Domaine d'application	139
1.2 Références normatives.....	139
2 Conditions normales et spéciales de service	140
3 Termes et définitions	140
3.1 Termes généraux	140
3.2 Ensembles	142
3.3 Parties d'ensembles	142
3.4 Appareils de connexion	142
3.5 Parties de l'interrupteur de contournement	144
3.6 Fonctionnement.....	146
3.7 Grandeurs caractéristiques.....	148
3.8 Définitions en rapport avec les batteries de condensateurs série.....	152
3.9 Index des définitions	155
4 Caractéristiques assignées.....	158
4.1 Tension assignée (U_r)	158
4.1.101 Tension assignée par rapport à la terre (U_{re})	158
4.1.102 Tension assignée entre les bornes de l'interrupteur de contournement (U_{rp})	158
4.2 Niveau d'isolement assigné	159
4.2.101 Niveau d'isolement assigné par rapport à la terre	159
4.2.102 Niveau d'isolement assigné entre les bornes de l'interrupteur de contournement	159
4.3 Fréquence assignée (f_r).....	159
4.4 Courant assigné en service continu (I_r) et échauffement	159
4.5 Courant de courte durée admissible assigné (I_k)	159
4.6 Valeur de crête du courant admissible assigné (I_p).....	159
4.7 Durée de court-circuit assignée (t_k)	160
4.8 Tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture, des circuits auxiliaires et de commande (U_a)	160
4.9 Fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires	160
4.10 Pression assignée d'alimentation en gaz comprimé pour l'isolement, la manœuvre et/ou le contournement et l'insertion.....	160
4.101 Séquence de manœuvres assignée	160
4.102 Courant assigné de contournement (I_{BP})	161
4.103 Courant assigné d'insertion (dans le circuit de contournement, I_{INS}).....	161
4.104 Tension assignée de réinsertion (U_{INS}).....	161
4.105 Durées assignées.....	162
4.106 Nombre de manœuvres mécaniques.....	162
5 Conception et construction	163
5.1 Exigences pour les liquides utilisés dans les interrupteurs de contournement.....	163
5.2 Exigences pour les gaz utilisés dans les interrupteurs de contournement	163
5.3 Mise à la terre des interrupteurs de contournement	163
5.4 Équipements auxiliaires.....	163

5.5	Manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure	164
5.6	Manœuvre à accumulation d'énergie	164
5.7	Manœuvre manuelle indépendante	164
5.8	Fonctionnement des déclencheurs	164
5.8.1	Déclencheurs à fermeture shunt	164
5.8.2	Déclencheurs à fermeture ouverture	164
5.8.3	Fonctionnement du condensateur des déclencheurs à shunt	165
5.8.4	Déclencheur à minimum de tension	165
5.8.101	Déclencheurs multiples	165
5.8.102	Limites de fonctionnement des déclencheurs	165
5.8.103	Puissance consommée par les déclencheurs	165
5.9	Verrouillages à basse et à haute pression	165
5.10	Plaques signalétiques	165
5.11	Verrouillages	167
5.12	Indicateur de position	167
5.13	Degrés de protection procurés par les enveloppes	167
5.14	Lignes de fuite	167
5.15	Étanchéité au gaz et au vide	167
5.16	Étanchéité au liquide	167
5.17	Inflammabilité	168
5.18	Compatibilité électromagnétique	168
5.19	Émission de rayons X	168
5.20	Corrosion	168
5.101	Exigences de simultanéité au sein d'un pôle	168
5.102	Exigence générale de fonctionnement	168
5.103	Limites de pression des fluides pour la manœuvre	168
5.104	Orifices d'évacuation	169
6	Essais de type	169
6.1	Généralités	170
6.1.1	Groupement des essais	170
6.1.2	Informations pour l'identification des spécimens d'essai	170
6.1.3	Informations à inclure dans les rapports d'essais de type	170
6.2	Essais diélectriques	171
6.2.1	Conditions de l'air ambiant pendant les essais	171
6.2.2	Modalité des essais sous pluie	171
6.2.3	Condition de l'interrupteur de contournement pendant les essais diélectriques	171
6.2.4	Critères de réussite des essais	171
6.2.5	Application de la tension d'essai et conditions d'essai	172
6.2.6	Essais des interrupteurs de contournement avec $U_{re} \leq 245$ kV ou $U_{rp} \leq 245$ kV	172
6.2.7	Essais des interrupteurs de contournement avec $U_{re} > 245$ kV ou $U_{rp} > 245$ kV	172
6.2.8	Essais de pollution artificielle	173
6.2.9	Essais de décharges partielles	173
6.2.10	Essais des circuits auxiliaires et de commande	173
6.2.11	Essais de tension comme vérification d'état	173
6.3	Essais de tension de perturbation radioélectrique	175
6.4	Mesurage de la résistance du circuit principal	175

6.5	Essais d'échauffement	175
6.5.1	État de l'interrupteur de contournement en essai	175
6.5.2	Disposition de l'appareil.....	175
6.5.3	Mesurage de la température et de l'échauffement.....	175
6.5.4	Température de l'air ambiant.....	175
6.5.5	Essais d'échauffement des équipements auxiliaires et de commande	175
6.5.6	Interprétation des essais d'échauffement.....	175
6.6	Essais au courant de courte durée et à la valeur de crête du courant admissible	175
6.6.1	Disposition de l'interrupteur de contournement et du circuit d'essai	175
6.6.2	Valeurs du courant d'essai et de sa durée	176
6.6.3	Comportement de l'interrupteur de contournement pendant l'essai	176
6.6.4	État de l'interrupteur de contournement après l'essai	176
6.7	Vérification du degré de protection	176
6.7.1	Vérification de la codification IP.....	176
6.7.2	Essai aux impacts mécaniques (vérification de la codification IK)	176
6.8	Essais d'étanchéité	176
6.9	Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)	176
6.10	Essais additionnels des circuits auxiliaires et de commande	177
6.10.1	Général	177
6.10.2	Essais fonctionnels.....	177
6.10.3	Essai de continuité électrique des parties métalliques reliées à la terre	177
6.10.4	Vérification des caractéristiques de fonctionnement des contacts auxiliaires.....	177
6.10.5	Essais d'environnement.....	177
6.11	Procédure d'essai des rayonnements X pour les ampoules à vide	177
6.101	Essais mécaniques et climatiques	177
6.101.1	Dispositions diverses pour les essais mécaniques et climatiques	177
6.101.2	Essai de fonctionnement mécanique à la température de l'air ambiant.....	180
6.101.3	Essais à haute et à basse températures.....	182
6.101.4	Essai à l'humidité	186
6.101.5	Essai pour vérifier le fonctionnement dans des conditions sévères de formation de glace	186
6.101.6	Essai avec efforts statiques sur les bornes.....	186
6.102	Dispositions diverses pour les essais de contournement et d'insertion.....	188
6.102.1	Généralités	189
6.102.2	Nombre de spécimens d'essai	189
6.102.3	Disposition de l'interrupteur de contournement pour les essais	189
6.102.4	Considérations générales concernant les méthodes d'essai	191
6.102.5	Essais synthétiques	193
6.102.6	Manœuvres à vide avant les essais.....	193
6.102.7	Mécanismes d'entraînement différents	193
6.102.8	Comportement de l'interrupteur de contournement pendant les essais	194
6.102.9	État de l'interrupteur de contournement après les essais.....	195
6.103	Séquence des essais.....	196
6.104	Séquence d'essais d'établissement du courant de contournement	197
6.104.1	Généralités	197

6.104.2	Caractéristiques du circuit d'alimentation	197
6.104.3	Tension d'essai	197
6.104.4	Courant d'essai	197
6.105	Séquence d'essai de courant d'insertion	198
6.105.1	Généralités	198
6.105.2	Caractéristiques du circuit d'alimentation	199
6.105.3	Tension d'essai	200
6.105.4	Courant d'essai	200
6.105.5	Nombre de manœuvres	200
6.106	Critères de réussite des séquences d'essais	201
7	Essais individuels	201
7.1	Essais diélectriques du circuit principal	201
7.2	Essais diélectriques des circuits auxiliaires et de commande	202
7.3	Mesurage de la résistance du circuit principal	202
7.4	Essai d'étanchéité	202
7.5	Contrôles visuels et du modèle	202
7.101	Essais de fonctionnement mécanique	202
8	Guide pour le choix des interrupteurs de contournement selon le service	204
9	Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes	204
9.101	Renseignements à donner dans les appels d'offres et les commandes	204
9.102	Renseignements à donner avec les soumissions	205
10	Règles pour le transport, le stockage, l'installation, la manœuvre et la maintenance	207
10.1	Conditions à respecter pendant le transport, le stockage et l'installation	207
10.2	Installation	207
10.2.101	Guide pour les essais de mise en service	207
10.2.102	Programme d'essais et de vérifications à la mise en service	208
10.3	Fonctionnement	214
10.4	Maintenance	214
10.4.101	Résistances et condensateurs (si applicable)	214
11	Sécurité	214
12	Influence du produit sur l'environnement	214
Annexe A (normative) Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type		232
Annexe B (normative) Enregistrement et comptes rendus des essais de type		236
Annexe C (informative) Liste des symboles et des abréviations utilisés		239
Annexe D (informative) Exemples de caractéristiques d'un interrupteur de contournement		241
Annexe E (informative normative) Interrupteurs de contournement utilisés comme dispositifs de contournement primaires		248
Annexe F (informative) Note explicative concernant la tension de rétablissement transitoire pendant la réinsertion		250
Annexe G (normative) Utilisation de caractéristiques mécaniques et exigences liées		261
Bibliographie		263
Figure 1 – Interrupteur de contournement – Manœuvres d'ouverture et de fermeture		215
Figure 2 – Interrupteur de contournement – Cycle de fermeture-ouverture		216

Figure 3 – Interrupteur de contournement – Cycle d'ouverture-fermeture	217
Figure 4 – Séquences d'essais pour les essais à basse et à haute températures	218
Figure 5 – Efforts statiques sur les bornes	219
Figure 6 – Directions pour les essais d'efforts statiques sur les bornes.....	220
Figure 7 – Caractéristiques de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée)	221
Figure 8 – Caractéristiques de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec les enveloppes prescrites centrées autour de la courbe de référence ($\pm 5\%$), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à $t = 20$ ms	221
Figure 9 – Caractéristiques de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec les enveloppes prescrites déplacées totalement vers la haut par rapport à la courbe de référence ($^{+10}_0\%$), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à $t = 20$ ms	222
Figure 10 – Caractéristiques de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec les enveloppes prescrites déplacées totalement vers le bas par rapport à la courbe de référence ($^{-10}_0\%$), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à $t = 20$ ms	222
Figure 11 – Montage d'essai équivalent pour les essais sur éléments séparés des interrupteurs de contournement ayant plus d'un élément de contournement	223
Figure 12 – Circuit d'essai typique pour une séquence d'essai d'établissement du courant de contournement	224
Figure 13 – Oscillogramme obtenu avec le circuit d'essai typique pour une séquence d'essai d'établissement de courant de contournement	225
Figure 14 – Circuit d'essai LC typique pour la séquence d'essai de courant d'insertion.....	226
Figure 15 – Oscillogramme obtenu avec le circuit d'essai LC typique pour la séquence d'essai de courant d'insertion	227
Figure 16 – Circuit d'essai typique pour la séquence d'essai de courant d'insertion (principalement pour un courant d'insertion assigné élevé)	228
Figure 17 – Oscillogramme obtenu avec le circuit d'essai typique présenté à la Figure 16 pour la séquence d'essai de courant d'insertion	229
Figure 18 – Circuit d'essai direct typique pour la séquence d'essai de courant d'insertion.....	230
Figure 19 – Oscillogramme obtenu avec le circuit d'essai direct typique pour la séquence d'essai de courant d'insertion	231
Figure E.1 – Implantation type des composants pour les interrupteurs de contournement utilisés comme dispositifs de contournement primaires	248
Figure F.1 – Exemple typique de tension transitoire de réinsertion entre les bornes d'un interrupteur de contournement pour une installation à faible facteur de compensation ($k = 0,2$) et pour une oscillation de puissance de 1,8 p.u.	257
Figure F.2 – Exemple typique de tension transitoire de réinsertion entre les bornes d'un interrupteur de contournement pour une installation à facteur de compensation élevé ($k = 0,5$) et pour une oscillation de puissance de 1,8 p.u.	257
Figure F.3 – Comparaison des exemples de tensions transitoires de réinsertion calculées et enveloppes d'essais possibles pour les réseaux à 50 Hz.....	258
Figure F.4 – Comparaison des exemples de tensions transitoires de réinsertion calculées et enveloppes d'essais possibles pour les réseaux à 60 Hz.....	259
Tableau 1 – Informations sur la plaque signalétique.....	166
Tableau 2 – Essais de type	170

Tableau 3 – Essais non valables.....	171
Tableau 4 – Nombre de séquences de manœuvres.....	181
Tableau 5 – Exemples d'efforts statiques horizontaux et verticaux pour l'essai avec efforts statiques aux bornes.....	188
Tableau 6 – Application de la tension lors des essais diélectriques du circuit principal	202
Tableau 7 – Procédure d'essais pour les essais d'établissement du courant de contournement.....	198
Tableau A.1 – Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type	233
Tableau D.1 – Caractéristiques typiques d'un interrupteur de contournement pour batterie de condensateurs série – Cas 1 à 6	242
Tableau D.2 – Caractéristiques typiques d'un interrupteur de contournement pour batterie de condensateurs série – Cas 7 à 12	244
Tableau D.3 – Caractéristiques typiques d'un interrupteur de contournement pour batterie de condensateurs série – Cas 13 à 18	246
Tableau F.1 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance ni surcharge d'urgence $I_{load} = 1,0$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 50$ Hz	251
Tableau F.2 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance, mais avec une surcharge d'urgence $I_{load} = 1,2$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 50$ Hz.....	251
Tableau F.3 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance, mais avec une surcharge d'urgence $I_{load} = 1,4$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 50$ Hz.....	252
Tableau F.4 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance, mais avec une surcharge d'urgence $I_{load} = 1,6$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 50$ Hz.....	252
Tableau F.5 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance $I_{load} = 1,8$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 50$ Hz.....	252
Tableau F.6 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance $I_{load} = 2,0$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 50$ Hz.....	253
Tableau F.7 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance $I_{load} = 2,3$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 50$ Hz.....	253
Tableau F.8 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance $I_{load} = 2,5$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 50$ Hz.....	253
Tableau F.9 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance ni surcharge d'urgence $I_{load} = 1,0$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 60$ Hz	254
Tableau F.10 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance, mais avec une surcharge d'urgence $I_{load} = 1,2$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 60$ Hz.....	254
Tableau F.11 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance, mais avec une surcharge d'urgence $I_{load} = 1,4$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 60$ Hz.....	254
Tableau F.12 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance, mais avec une surcharge d'urgence $I_{load} = 1,6$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 60$ Hz.....	255

Tableau F.13 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance $I_{load} = 1,8$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 60$ Hz.....	255
Tableau F.14 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance $I_{load} = 2,0$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 60$ Hz.....	255
Tableau F.15 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance $I_{load} = 2,3$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 60$ Hz.....	256
Tableau F.16 – Exemples typiques de tensions de rétablissement de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance $I_{load} = 2,5$ p.u.; $U_{PL} = 2,2$ p.u.; $\beta = 0,85$ et $f = 60$ Hz.....	256
Tableau G.1 – Résumé des essais de type liés aux caractéristiques mécaniques	262

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 109: Interrupteurs de contournement pour condensateurs série à courant alternatif

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

Cette version consolidée de la CEI 62271-109 comprend la deuxième édition (2008) [documents 17A/837/FDIS et 17A/844/RVD] et son amendement 1 (2013) [documents 17A/1038/FDIS et 17A/1043/RVD]. Elle porte le numéro d'édition 2.1.

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

La Norme internationale CEI 62271-109 a été établie par le sous-comité 17A: Appareillage à haute tension, du comité d'études 17 de la CEI: Appareillage.

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

Les modifications principales par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- La séquence d'essais d'établissement du courant de contournement a été séparée avec des opérations au courant assigné d'établissement du courant de contournement I_{BP} et des opérations au courant de décharge de la batterie de condensateurs $I_{DÉCHARGE}$
- L'équivalence concernant l'applicabilité des paramètres d'essais (courant crête et fréquence) durant les essais d'établissement du courant de contournement en relation avec les conditions de service ont été revues et changées en conséquence.
- La forme de la tension de rétablissement durant la séquence d'essais de courant d'insertion a été recalculée et optimisée. Une note explicative sur le calcul de la tension de rétablissement est donnée à l'Annexe F.
- Élimination de la classe d'endurance électrique BP2. Ces appareils sont maintenant couverts par l'Annexe E.
- Ajout de l'Annexe D qui donne des exemples de caractéristiques typiques d'interrupteurs de contournement.

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

Cette norme doit être lue conjointement avec la CEI 62271-100 et la CEI 62271-1 (2007), 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 62271-1. 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 maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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 109: Interrupteurs de contournement pour condensateurs série à courant alternatif

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62271 est applicable aux interrupteurs de contournement pour condensateurs série à courant alternatif conçus pour l'installation à l'extérieur et pour fonctionner à des fréquences de 50 Hz à 60 Hz, sur des réseaux de tensions supérieures à 52 kV.

Elle s'applique uniquement aux interrupteurs de contournement destinés à être utilisés dans les systèmes triphasés.

Cette norme est également applicable aux dispositifs de commande des interrupteurs de contournement et à leurs équipements auxiliaires.

1.2 Références normatives

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

CEI 60050-151:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050-436:1990, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 436: Condensateurs de puissance*

CEI 60050-441:1984, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

CEI 60050-604:1987, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 604: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Exploitation*

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

CEI 60143-1:2004, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 1: Généralités*

CEI 60143-2:1994, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 2: Matériel de protection pour les batteries de condensateurs série*

CEI 60296, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillage de connexion*

CEI 60376, *Spécifications de la qualité technique de l'hexafluorure de soufre (SF₆) pour utilisation dans les appareils électriques*

CEI 60480, *Lignes directrices relatives au contrôle et au traitement de l'hexafluorure de soufre (SF_6) prélevé sur le matériel électrique et spécification en vue de sa réutilisation*

CEI 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

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

CEI 62271-100:2008, *Appareillage à haute tension – Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif*

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

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

CEI 62271-303, *Appareillage à haute tension – Partie 303: Utilisation et manipulation de l'hexafluorure de soufre (SF_6)*

2 Conditions normales et spéciales de service

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

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de la CEI 60050-151, de la CEI 60050-436, de la CEI 60050-441, de la CEI 60050-604, de la CEI 60143-1, de la CEI 60143-2 et de la CEI 62271-1 s'appliquent. Pour faciliter l'utilisation de la norme, certains d'entre eux ont été rappelés ci-après.

Des termes et définitions additionnels sont classés de façon à être alignés sur la classification utilisée dans la CEI 60050-441.

3.1 Termes généraux

3.1.101

appareillage

[VEI 441-11-01]

3.1.102

appareillage pour l'extérieur

[VEI 441-11-05]

3.1.103

courant de court-circuit

[VEI 441-11-07]

3.1.104

température de l'air ambiant

[VEI 441-11-13]

3.1.105

échauffement (d'une partie d'un interrupteur de contournement)

écart entre la température de la partie et la température de l'air ambiant

3.1.106**surtension (dans un réseau)**

toute tension entre un conducteur de phase et la terre ou entre deux conducteurs de phase dont la ou les valeurs de crête dépassent la valeur de crête correspondant à la tension la plus élevée pour le matériel

[VEI 604-03-09, modifiée]

3.1.107**essai sur élément**

essai effectué sur un élément de contournement ou d'insertion ou sur un groupe d'éléments au courant d'établissement de contournement ou au courant d'insertion, spécifié pour l'essai du pôle complet d'un interrupteur de contournement et à la fraction appropriée de la tension appliquée, ou de la tension de rétablissement, spécifiée pour l'essai du pôle complet de l'interrupteur de contournement

3.1.108**isolation externe**

distances dans l'air atmosphérique et sur les surfaces des isolations solides d'un matériel en contact avec l'atmosphère qui sont soumises aux contraintes diélectriques et à l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres agents externes tels que la pollution, l'humidité, les animaux nuisibles, etc.

[VEI 604-03-02, modifiée]

3.1.109**isolation interne**

éléments internes solides, liquides ou gazeux de l'isolation d'un matériel qui sont à l'abri de l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres agents externes

[VEI 604-03-03]

3.1.110**isolation autorégénératrice**

isolation qui retrouve intégralement ses propriétés isolantes après une décharge disruptive

[VEI 604-03-04]

3.1.111**isolation non autorégénératrice**

isolation qui perd ses propriétés isolantes, ou ne les retrouve pas intégralement après une décharge disruptive

[VEI 604-03-05]

3.1.112**décharge disruptive**

phénomène associé à la défaillance de l'isolation sous l'action d'une contrainte électrique et dans lesquels la décharge court-circuite complètement l'isolation en essai, réduisant la tension entre électrodes à une valeur nulle ou presque nulle

NOTE 1 Ce terme s'applique aux claquages diélectriques dans des milieux solides, liquides ou gazeux et à leurs combinaisons.

NOTE 2 Une décharge disruptive dans un diélectrique solide occasionne la perte définitive de la rigidité diélectrique (isolation non autorégénératrice); dans les diélectriques liquides ou gazeux, cette perte peut n'être que momentanée (isolation autorégénératrice).

NOTE 3 Le terme «amorçage» est utilisé lorsque la décharge disruptive se produit dans un diélectrique gazeux ou liquide; le terme «contournement» est utilisé lorsque la décharge disruptive longe la surface d'un diélectrique solide entouré d'un gaz ou d'un liquide isolant; le terme «perforation» est utilisé lorsque la décharge disruptive se produit à travers un diélectrique solide.

3.1.113

performance en réamorçage

probabilité présumée de réamorçage pendant la séquence d'essai de courant d'insertion, comme démontré par l'essai spécifié

NOTE Des probabilités chiffrées spécifiques ne peuvent pas être appliquées durant toute la durée de service de l'interrupteur de contournement.

3.1.114

réallumage (d'un appareil mécanique de connexion à courant alternatif)

[VEI 441-17-45]

3.1.115

réamorçage (d'un appareil mécanique de connexion à courant alternatif)

[VEI 441-17-46]

3.1.116

décharge disruptive non maintenue (NSDD)

décharge disruptive associée à une coupure de courant, qui n'entraîne pas de rétablissement du courant à fréquence industrielle ou, dans le cas d'une insertion, qui n'entraîne pas de courant dans la batterie de compensation série.

NOTE Les oscillations suivant les décharges disruptives non maintenues sont associées à la capacité et à l'inductance parasites à proximité de l'interrupteur de contournement ou provenant de l'interrupteur de contournement lui-même. Les décharges disruptives non maintenues peuvent également impliquer la capacité parasite par rapport à la terre des appareils situés à proximité.

3.2 Ensembles

Pas de définition particulière.

3.3 Parties d'ensembles

Pas de définition particulière.

3.4 Appareils de connexion

3.4.101

appareil de connexion

[VEI 441-14-01]

3.4.102

appareil mécanique de connexion

[VEI 441-14-02]

3.4.103

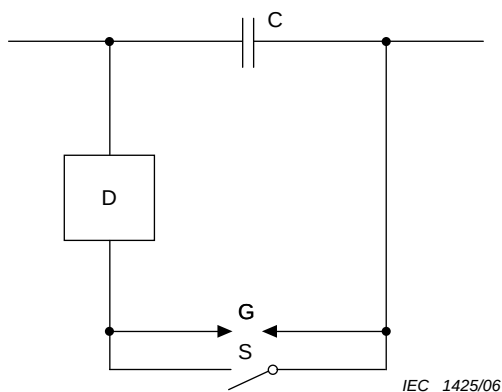
interrupteur de contournement

appareil de connexion triphasé utilisé en parallèle avec un condensateur série et son dispositif de protection contre les surtensions pour shunter le courant de ligne d'un niveau spécifié pendant une durée spécifiée ou continuellement. Les interrupteurs de contournement peuvent être unipolaires ou tripolaires

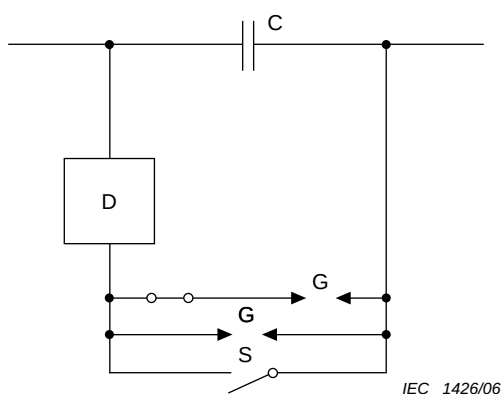
NOTE 1 Outre le contournement du condensateur, cet appareil est normalement capable d'insérer le condensateur dans un circuit qui transporte un niveau de courant spécifié.

NOTE 2 Les interrupteurs de contournement sont normalement utilisés en combinaison avec un dispositif de mise en contournement rapide, par exemple un éclateur (pour les applications spéciales n'employant pas de dispositif de mise en contournement rapide, voir l'Annexe E).

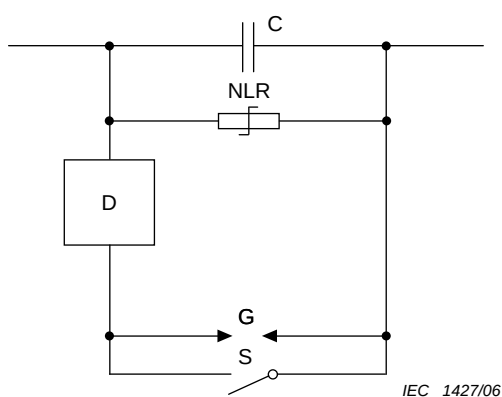
Des exemples de configurations de condensateurs série employant un dispositif de mise en contournement rapide en parallèle avec l'interrupteur de contournement (voir la CEI 60143-1) sont présentés ci-après:



Éclateur simple



Éclateur double



Résistance non linéaire avec éclateur de contournement

Légende

C	condensateur série
D	circuit d'amortissement
G	éclateur de contournement
S	interrupteur de contournement
NLR	résistance non linéaire

3.4.104**interrupteur de contournement de classe M1**

interrupteur de contournement à endurance mécanique normale (essais de type à 2 000 séquences de manœuvre mécanique) n'entrant pas dans la catégorie classe M2 définie en 3.4.105

3.4.105**interrupteur de contournement de classe M2**

interrupteur de contournement à manœuvres fréquentes pour des exigences de service spéciales et conçu pour ne nécessiter qu'une maintenance limitée comme démontré par des essais de type spécifiques (interrupteur de contournement à endurance mécanique accrue, ayant réalisé 10 000 séquences de manœuvre en essais de type mécanique). Ce type d'interrupteur de contournement est normalement utilisé sur les condensateurs à segments multiples où la commande de l'impédance du condensateur est une fonction fréquente

3.5 Parties de l'interrupteur de contournement**3.5.101****pôle**

[VEI 441-15-01]

3.5.102**circuit principal**

[VEI 441-15-02]

3.5.103**circuit de commande**

[VEI 441-15-03]

3.5.104**circuit auxiliaire**

[VEI 441-15-04]

3.5.105**contact**

[VEI 441-15-05]

3.5.106**pièce de contact**

[VEI 441-15-06]

3.5.107**contact principal**

[VEI 441-15-07]

3.5.108**contact d'arc**

[VEI 441-15-08]

3.5.109**contact de commande**

[VEI 441-15-09]

3.5.110**contact auxiliaire**

[VEI 441-15-10]

3.5.111**interrupteur auxiliaire**

[VEI 441-15-11]

3.5.112**contact «a»**

contact à fermeture

[VEI 441-15-12]

3.5.113**contact «b»****contact à ouverture**

[VEI 441-15-13]

3.5.114**contact glissant**

[VEI 441-15-15]

3.5.115**contact roulant**

[VEI 441-15-16]

3.5.116**déclencheur**

[VEI 441-15-17]

3.5.117**chambre d'extinction**

[VEI 441-15-18]

3.5.118**indicateur de position**

[VEI 441-15-25]

3.5.119**raccord (par boulons ou dispositifs équivalents)**

ensemble de pièces conductrices (deux ou davantage) destinées à assurer la continuité permanente d'un circuit lorsqu'elles sont assemblées au moyen de vis, de boulons ou de dispositifs équivalents

3.5.120**borne**

composant destiné à raccorder un interrupteur de contournement à des conducteurs extérieurs

[VEI 151-12-12, modifiée]

3.5.121**élément de contournement (ou d'insertion)**

partie d'un interrupteur de contournement qui en elle-même joue le rôle d'un interrupteur de contournement et qui, en série avec un ou plusieurs éléments de contournement ou d'insertion identiques manœuvrés simultanément, forme l'interrupteur de contournement complet

NOTE 1 Les éléments de contournement et les éléments d'insertion sont normalement combinés, mais peuvent être séparés. Chaque élément peut comporter plusieurs contacts.

NOTE 2 Les moyens utilisés pour la répartition de la tension entre les éléments peuvent différer d'un élément à l'autre.

3.5.122

module (d'un interrupteur de contournement)

ensemble comprenant généralement des éléments de contournement ou d'insertion, des supports isolants (pour les interrupteurs de contournement à cuve sous tension), des traversées (pour les interrupteurs de contournement à cuve mise à la terre) et des parties mécaniques. Il est assemblé électriquement et mécaniquement à d'autres ensembles identiques pour constituer un pôle d'interrupteur de contournement

3.5.123

enveloppe

partie d'appareillage procurant un degré de protection spécifié (se reporter à la CEI 60529) du matériel contre les influences externes et un degré de protection spécifié contre l'approche des parties actives ou le contact avec elles ou contre le contact avec des pièces en mouvement

[VEI 441-13-01, modifiée]

3.5.124

mécanisme d'entraînement

partie de l'interrupteur de contournement qui actionne, par l'intermédiaire de la chaîne cinématique de puissance, les contacts du circuit principal de l'interrupteur de contournement

3.5.125

chaîne cinématique de puissance

dispositif de liaison mécanique entre le mécanisme d'entraînement, mécanisme d'entraînement inclus, et les contacts mobiles, contacts mobiles inclus

NOTE Voir aussi A.3.5.111 de la CEI 62271-102.

3.5.126

mécanisme d'entraînement alternatif

un mécanisme d'entraînement alternatif est obtenu lorsqu'une modification de la chaîne cinématique de puissance du mécanisme d'entraînement d'origine, ou lorsque l'utilisation d'un mécanisme d'entraînement complètement différent, conduit aux mêmes caractéristiques mécaniques

NOTE 1 Les caractéristiques mécaniques sont définies en 6.101.1.1. L'utilisation des caractéristiques mécaniques et les exigences qui y sont liées sont décrites à l'Annexe G.

NOTE 2 Un mécanisme d'entraînement alternatif peut mettre en œuvre un principe d'entraînement différent de celui du mécanisme d'entraînement d'origine (par exemple, le mécanisme alternatif peut être à ressort et celui d'origine peut être hydraulique).

NOTE 3 Une modification de l'équipement secondaire ne mène pas à un mécanisme d'entraînement alternatif.

3.6 Fonctionnement

3.6.101

manœuvre

[VEI 441-16-01]

3.6.102

cycle de manœuvres

[VEI 441-16-02]

3.6.103

séquence de manœuvres

[VEI 441-16-03]

3.6.104**manœuvre de fermeture**

[VEI 441-16-08]

3.6.105**manœuvre d'ouverture**

[VEI 441-16-09]

3.6.106**réouverture automatique**

séquence de manœuvres d'un interrupteur de contournement au cours de laquelle, après sa fermeture, il s'ouvre automatiquement après une durée prédéterminée

3.6.107**manœuvre positive d'ouverture**

[VEI 441-16-11]

3.6.108**manœuvre effectuée positivement**

[VEI 441-16-12]

3.6.109**manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure**

[VEI 441-16-14]

3.6.110**manœuvre à accumulation d'énergie**

manœuvre de connexion effectuée au moyen d'énergie emmagasinée dans le mécanisme lui-même avant la manœuvre et suffisante pour achever la séquence de manœuvres spécifiée dans des conditions prédéterminées

3.6.111**manœuvre indépendante manuelle**

manœuvre à accumulation d'énergie dans laquelle l'énergie manuelle accumulée et libérée en une seule manœuvre continue, de telle sorte que la vitesse et la force de la manœuvre sont indépendantes de l'action de l'opérateur

[VEI 441-16-16]

3.6.112**position de fermeture**

[VEI 441-16-22]

3.6.113**position d'ouverture**

[VEI 441-16-23]

3.6.114**déclencheur shunt**

[VEI 441-16-41]

3.6.115**dispositif d'antipompage**

dispositif qui empêche la réouverture après une manœuvre d'ouverture/fermeture tant que le dispositif qui est à l'origine de l'ouverture est maintenu dans la position provoquant l'ouverture

3.6.116

dispositif de verrouillage

[VEI 441-16-49]

3.6.117

interrupteur de contournement à dispositif de verrouillage empêchant l'ouverture

interrupteur de contournement dans lequel aucun des contacts mobiles ne peut insérer le condensateur si la commande d'ouverture est initiée tant que les conditions qui provoquent la manœuvre de fermeture sont maintenues

3.7 Grandeurs caractéristiques

Les Figures 1 à 3 illustrent quelques définitions de ce paragraphe.

Les durées, voir les définitions 3.7.120 à 3.7.130, sont exprimées en millisecondes ou en cycles. Lorsqu'elles sont exprimées en cycles, la fréquence industrielle doit être donnée entre guillemets.

3.7.101

valeur assignée

valeur d'une grandeur fixée, généralement par le constructeur, pour un fonctionnement spécifié d'un composant, d'un dispositif ou d'un matériel

3.7.102

courant présumé (d'un circuit et relatif à un appareil de connexion ou à un fusible)

[VEI 441-17-01]

3.7.103

valeur de crête du courant présumé

valeur de crête de la première alternance du courant présumé pendant la période transitoire qui suit son établissement

NOTE La définition implique que le courant est établi par un interrupteur de contournement idéal, c'est-à-dire dont l'impédance entre les bornes de chaque pôle passe instantanément et simultanément de l'infini à zéro. La valeur de crête peut être différente d'un pôle à l'autre; elle dépend de la tension instantanée entre les bornes du condensateur avant le contournement.

3.7.104

valeur de crête du courant

valeur de crête de la première alternance du courant pendant la période transitoire qui suit son établissement

3.7.105

courant de contournement transitoire

superposition du courant de décharge de la batterie de condensateurs et du courant à fréquence industrielle

3.7.106

~~valeur de crête du courant de contournement transitoire~~ courant de contournement établi

valeur de crête du courant de contournement ~~transitoire~~ dans un pôle d'un interrupteur de contournement pendant la période transitoire qui suit l'établissement du courant pendant une manœuvre de contournement. Cette valeur est la valeur instantanée maximale de la somme des composantes du courant de décharge de la batterie de condensateurs et du courant à fréquence industrielle. Dans le cas de défaut du réseau, le courant de défaut à fréquence industrielle ~~doit être~~ est égal au courant de coordination maximal de la varistance ou, dans les cas d'installation sans varistance, au courant de défaut à fréquence industrielle maximal réel à l'emplacement particulier

NOTE 1 La valeur de crête peut être différente d'un pôle à l'autre et d'une manœuvre à l'autre car elle dépend de la tension instantanée du condensateur avant le contournement.

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

NOTE 3 Le courant de défaut à fréquence industrielle maximal à un endroit particulier ou le courant de coordination maximal de la varistance est généralement nettement inférieur à la valeur de crête du courant admissible assigné de l'interrupteur de contournement.

3.7.107

courant d'insertion (dans le circuit de contournement)

courant efficace stabilisé qui passe à travers l'interrupteur de contournement immédiatement avant l'ouverture

3.7.108

capacité d'insertion

valeur du courant présumé qu'un interrupteur de contournement est capable d'insérer à la tension indiquée sous les conditions d'utilisation et de comportement exigées

3.7.109

capacité de contournement

valeur du courant présumé qu'un interrupteur de contournement est capable d'établir à la tension indiquée sous les conditions d'utilisation et de comportement exigées

3.7.110

pouvoir de fermeture en court-circuit

[VEI 441-17-10]

3.7.111

courant de courte durée admissible

[VEI 441-17-17]

3.7.112

valeur de crête du courant admissible

[VEI 441-17-18]

3.7.113

tension appliquée

[VEI 441-17-24]

3.7.114

tension de rétablissement

[VEI 441-17-25]

3.7.115

tension de rétablissement à fréquence industrielle

[VEI 441-17-27]

3.7.116

tension d'arc (valeur de crête)

[VEI 441-17-30]

3.7.117

distance d'isolement

[VEI 441-17-31]

3.7.118

distance d'isolement entre pôles

[VEI 441-17-32]

3.7.119**distance d'isolement à la terre**

[VEI 441-17-33]

3.7.120**distance d'isolement entre contacts ouverts**

[VEI 441-17-34]

3.7.121**durée d'ouverture**

durée d'ouverture d'un interrupteur de contournement définie suivant le mode de déclenchement, comme indiqué ci-dessous, et tout dispositif de retard faisant partie intégrante de l'interrupteur de contournement étant, s'il y a lieu, réglé pour la durée minimale.

Pour un interrupteur de contournement déclenché par une source quelconque d'énergie auxiliaire, la durée d'ouverture est l'intervalle de temps entre l'instant de mise sous tension du déclencheur, l'interrupteur de contournement étant en position de fermeture, et l'instant de séparation des contacts d'arc sur tous les pôles

NOTE 1 Pour les interrupteurs de contournement à plusieurs éléments d'insertion par pôle, l'instant de la séparation des contacts d'arc sur tous les pôles est pris à l'instant de la séparation des contacts du premier élément du dernier pôle.

NOTE 2 La durée d'ouverture comprend la durée de fonctionnement de tout équipement auxiliaire nécessaire au fonctionnement de l'interrupteur de contournement et qui fait partie intégrante de ce dernier.

3.7.122**durée d'arc (d'un appareil de connexion multipolaire)**

intervalle de temps entre l'instant du premier début d'un arc et l'instant de l'extinction finale de l'arc sur tous les pôles

[VEI 441-17-38]

3.7.123**durée d'insertion**

intervalle de temps entre le début de la durée d'ouverture d'un interrupteur de contournement et la fin de la durée d'arc

3.7.124**durée de fermeture**

intervalle de temps entre la mise sous tension du circuit de fermeture, l'interrupteur de contournement étant en position d'ouverture, et l'instant où les contacts se touchent dans tous les pôles

NOTE La durée de fermeture comprend la durée de fonctionnement de tout équipement auxiliaire nécessaire pour fermer l'interrupteur de contournement et qui fait partie intégrante de ce dernier.

3.7.125**durée de contournement**

intervalle de temps entre la mise sous tension du circuit de fermeture, l'interrupteur de contournement étant en position d'ouverture, et l'instant où le courant commence à circuler dans le premier pôle

NOTE 1 La durée de contournement comprend la durée de fonctionnement de tout équipement auxiliaire nécessaire pour fermer l'interrupteur de contournement et qui fait partie intégrante de ce dernier.

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

3.7.126**durée de préarc**

intervalle de temps entre le début de la circulation de courant dans le premier pôle pendant une manœuvre de contournement et l'instant où les contacts se touchent dans tous les pôles

pour les conditions triphasées ou l'instant où les contacts du pôle qui voit l'arc se touchent pour les conditions monophasées

NOTE La durée de préarc dépend de la valeur instantanée de la tension appliquée pendant une manœuvre de contournement spécifique et peut donc varier considérablement.

3.7.127

durée d'ouverture-fermeture

intervalle de temps entre l'instant de séparation des contacts d'arc dans tous les pôles et l'instant où les contacts se touchent dans le premier pôle pendant une manœuvre de contournement

NOTE Sauf indication contraire, on suppose que le déclencheur de fermeture incorporé dans l'interrupteur de contournement est mis sous tension au moment où les contacts se sont séparés dans tous les pôles pendant l'ouverture. Cela représente la durée d'ouverture-fermeture minimale.

3.7.128

durée de coupure-établissement (pendant la refermeture automatique)

intervalle de temps entre l'extinction finale de l'arc dans tous les pôles lors de la manœuvre d'insertion et le premier rétablissement du courant dans l'un quelconque des pôles lors de la manœuvre de contournement qui lui fait suite

NOTE La durée de coupure-établissement peut varier, par exemple, à cause de la variation de la durée de préarc.

3.7.129

durée de contournement-insertion

intervalle de temps entre le début de la circulation du courant dans le premier pôle pendant une manœuvre de contournement et la fin de la durée d'arc pendant la manœuvre d'insertion qui lui fait suite

NOTE 1 La durée de contournement-insertion peut varier à cause de la variation de la durée de préarc.

NOTE 2 Il convient que la durée de contournement-insertion soit compatible avec les exigences du réseau.

3.7.130

durée minimale de l'ordre d'ouverture

durée minimale pendant laquelle la tension d'alimentation auxiliaire est appliquée au déclencheur d'ouverture pour assurer l'ouverture complète de l'interrupteur de contournement

3.7.131

durée minimale de l'ordre de fermeture

durée minimale pendant laquelle la tension d'alimentation auxiliaire est appliquée au dispositif de fermeture pour assurer la fermeture complète de l'interrupteur de contournement

3.7.132

niveau d'isolement

pour un interrupteur de contournement, une caractéristique définie par les valeurs indiquant les tensions de tenue de l'isolation par rapport à la terre et/ou entre les éléments de contournement

3.7.133

tension de tenue à fréquence industrielle

valeur efficace de la tension sinusoïdale à fréquence industrielle que l'interrupteur de contournement peut supporter lors d'essais faits dans des conditions spécifiées et pendant une durée spécifiée

[VEI 604-03-40, modifiée]

3.7.134**tension de tenue aux chocs**

valeur de crête de l'onde de tension de choc normalisée que l'isolation de l'interrupteur de contournement peut supporter lors d'essais faits dans des conditions spécifiées

NOTE Selon la forme de l'onde, cette expression peut être précisée: «tension de tenue aux chocs de manœuvre» ou «tension de tenue aux chocs de foudre».

3.7.135**pression minimale pour la manœuvre**

pression rapportée aux conditions atmosphériques normales de +20 °C et de 101,3 kPa, pouvant être exprimée de façon relative ou absolue, à laquelle et au-dessus de laquelle les caractéristiques assignées d'un interrupteur de contournement sont conservées, et à laquelle un complément de remplissage du dispositif de manœuvre devient nécessaire

NOTE Cette pression est souvent appelée pression de verrouillage (se reporter à 3.6.5.6 de la CEI 62271-1).

3.7.136**pression minimale pour le contournement, l'insertion et l'isolement**

pression pour le contournement, l'insertion et l'isolement, rapportée aux conditions atmosphériques normales de +20 °C et de 101,3 kPa, pouvant être exprimée de façon relative ou absolue, à laquelle et au-dessus de laquelle les caractéristiques assignées d'un interrupteur de contournement sont conservées, et à laquelle un complément de remplissage du fluide de contournement, d'insertion et/ou d'isolement devient nécessaire

NOTE 1 Voir également 3.6.5.5 de la CEI 62271-1.

NOTE 2 Pour les interrupteurs de contournement avec système à pression scellé (aussi appelé scellé à vie), la pression minimale pour le contournement et l'insertion est celle à laquelle les caractéristiques assignées de l'interrupteur de contournement sont conservées, en prenant en compte la perte de pression à la fin de la durée de service escomptée.

3.8 Définitions en rapport avec les batteries de condensateurs série**3.8.1****condensateur**

le terme «condensateur» est utilisé lorsqu'il n'est pas nécessaire de faire la distinction entre les différentes significations du terme condensateur et l'ensemble de condensateurs associés à un segment

3.8.2**dispositif de protection contre les surtensions (d'un condensateur série)**

dispositif à action rapide qui limite la tension entre les bornes du condensateur à une valeur admissible dans les cas où un défaut du circuit ou toute autre condition anormale du réseau d'énergie pourrait entraîner un dépassement de cette valeur

[VEI 436-03-14, modifiée]

3.8.3**capacité assignée (d'un condensateur)**

C_N

valeur de la capacité pour laquelle a été conçu le condensateur

[VEI 436-01-12, modifiée]

3.8.4**courant assigné (d'un condensateur)**

I_N

valeur efficace du courant alternatif pour lequel a été conçu le condensateur

[VEI 436-01-13, modifiée]

3.8.5**réactance assignée (d'un condensateur)** X_N

réactance de chaque phase du condensateur série à la fréquence assignée et à une température du diélectrique de 20 °C

3.8.6**tension assignée (d'un condensateur)** U_N

valeur efficace de la tension entre les bornes, dérivée de la réactance assignée et du courant assigné $U_N = X_N \times I_N$

[VEI 436-01-15, modifiée]

3.8.7**tension limite** U_{LIM}

crête maximale de la tension à fréquence industrielle se produisant entre les bornes de l'élément condensateur immédiatement avant ou pendant la manœuvre du dispositif de protection contre les surtensions, divisée par $\sqrt{2}$

3.8.8**batterie de condensateurs série (ou batterie)**

ensemble triphasé de condensateurs avec protection associée et structure support isolée

NOTE La batterie peut comprendre un ou plusieurs modules.

3.8.9**segment (d'un condensateur série)**

lorsque chaque phase d'une batterie est divisée en une ou plusieurs parties branchées en série et que chacune de ces parties contient son propre ensemble d'éléments condensateurs, dispositifs de protections contre les surtensions, fonctions de protection et interrupteur de contournement, une telle partie complète est appelée un segment

NOTE Les segments ne sont normalement pas séparés par des sectionneurs d'isolation. Une même plate-forme isolée peut comporter plusieurs segments.

3.8.10**protection de la batterie**

terme général qui désigne tout équipement de protection d'une batterie de condensateurs ou d'une partie de celle-ci

3.8.11**courant de contournement**

courant efficace stabilisé qui circule à travers l'interrupteur de contournement en parallèle avec le condensateur

3.8.12**courant de défaut de contournement**

courant qui circule à travers la batterie de condensateurs série contournée suite à un défaut sur la ligne

3.8.13**éclateur de contournement (éclateur de protection)**

éclateur ou système d'éclateurs destiné à protéger soit le condensateur (type K) contre les surtensions, soit la résistance non linéaire (type M) contre les surcharges en détournant des parties protégées le courant de charge ou de défaut pendant une durée spécifiée (voir la Figure 2 de la CEI 60143-2).

3.8.14**dispositif de verrouillage de contournement**

dispositif qui impose que les trois pôles de l'interrupteur de contournement se trouvent dans la même position ouverte ou fermée

3.8.15**équipement d'amortissement limitant le courant**

réactance ou une réactance en parallèle de laquelle est branchée une résistance pour limiter l'amplitude et la fréquence du courant et pour fournir un amortissement suffisant de la décharge des condensateurs lors du fonctionnement de l'éclateur de contournement ou de la manœuvre de l'interrupteur de contournement

3.8.16**insertion**

ouverture de l'interrupteur de contournement du condensateur série pour insérer le condensateur série en série avec la ligne de transmission

3.8.17**courant d'insertion**

courant efficace qui circule à travers le condensateur série après l'ouverture de l'interrupteur de contournement. Ce courant peut présenter les amplitudes spécifiées du courant en régime permanent ou de surcharge

3.8.18**tension d'insertion**

tension de crête qui apparaît entre les bornes du condensateur série lors du transfert du courant de contournement lors de l'ouverture de l'interrupteur de contournement

3.8.19**éclateur principal**

partie de l'éclateur de protection qui est destinée à transporter le courant de défaut pendant une durée spécifiée, comprenant deux électrodes à usage intensif ou plus

3.8.20**module (gradin de condensateur)**

élément fonctionnel triphasé constitué d'un segment de condensateur (possiblement plusieurs) par phase avec des dispositions pour la manœuvre à verrouillage des interrupteurs de contournement monophasés

3.8.21**résistance non linéaire (varistance)**

dispositif destiné à agir comme une protection du condensateur contre les surtensions et constitué de résistances dont la valeur varie de façon non linéaire en fonction de la tension (normalement des varistances à oxyde métallique)

3.8.22**niveau de protection**

U_{PL}

amplitude de la crête maximale de la tension à fréquence industrielle qui apparaît entre les bornes de la protection contre les surtensions pendant un défaut de réseau ($U_{PL} = U_{LIM} \times \sqrt{2}$)

NOTE Le niveau de protection peut être exprimé en termes de tension de crête réelle entre les bornes d'un segment ou en termes d'unité de crête de la tension assignée aux bornes du condensateur.

3.8.23**réinsertion**

rétablissement du courant de charge vers le condensateur série à partir de la branche de contournement

3.8.24**courant de réinsertion**

courant transitoire, courant à la fréquence industrielle, ou les deux circulant à travers le condensateur série pendant l'ouverture de la branche de contournement

3.8.25**tension de réinsertion**

tension transitoire, tension à la fréquence industrielle, ou les deux, présentes entre les bornes du condensateur série pendant l'ouverture de la branche de contournement

3.8.26**surtension temporaire**

tension temporaire à fréquence industrielle supérieure à la tension assignée en service permanent du condensateur série

3.8.27**courant de coordination de la varistance**

amplitude du courant de varistance maximal associé au niveau de protection

3.8.28**courant de décharge de la batterie de condensateurs** **$I_{\text{DÉCHARGE}}$**

courant qui circule pendant la décharge de la batterie de condensateurs. La valeur de crête maximale du courant de décharge du condensateur se produit lorsque la batterie de condensateurs est déchargée au niveau de protection U_{PL}

3.9 Index des définitions**A**

Appareil de connexion	3.4.101
Appareil mécanique de connexion	3.4.102
Appareillage pour l'extérieur	3.1.102
Appareillage	3.1.101

B

Batterie de condensateurs série (ou batterie)	3.8.8
Borne	3.5.120

C

Capacité assignée (d'un condensateur) C_N	3.8.3
Capacité d'insertion	3.7.108
Capacité de contournement	3.7.109
Chaîne cinématique de puissance	3.5.125
Chambre d'extinction	3.5.117
Circuit auxiliaire	3.5.104
Circuit de commande	3.5.103
Circuit principal	3.5.102
Condensateur	3.8.1
Contact «a», contact à fermeture	3.5.112
Contact «b», contact à ouverture	3.5.113
Contact à fermeture	3.5.112
Contact à ouverture	3.5.113
Contact auxiliaire	3.5.110
Contact d'arc	3.5.108
Contact de commande	3.5.109
Contact glissant	3.5.114
Contact principal	3.5.107
Contact roulant	3.5.115
Contact	3.5.105

Courant assigné (d'un condensateur) I_N	3.8.4
Courant d'insertion (dans le circuit de contournement)	3.7.107
Courant d'insertion	3.8.17
Courant de contournement établi	3.7.106
Courant de coordination de la varistance	3.8.27
Courant de court-circuit	3.1.103
Courant de courte durée admissible	3.7.111
Courant de décharge de la batterie de condensateurs ($I_{DÉCHARGE}$)	3.8.28
Courant de défaut de contournement	3.8.12
Courant de contournement transitoire	3.7.105
Courant de contournement	3.8.11
Courant de réinsertion	3.8.24
Courant présumé (d'un circuit et relatif à un appareil de connexion ou à un fusible)	3.7.102
Cycle de manœuvres	3.6.102

D

Décharge disruptive	3.1.112
Décharge disruptive non-maintenue	3.1.116
Déclencheur shunt	3.6.114
Déclencheur	3.5.116
Dispositif d'antipompage	3.6.115
Dispositif de protection contre les surtensions (d'un condensateur série)	3.8.2
Dispositif de verrouillage de contournement	3.8.14
Dispositif de verrouillage	3.6.116
Distance d'isolement à la terre	3.7.119
Distance d'isolement entre contacts	3.7.120
Distance d'isolement entre pôles	3.7.118
Distance d'isolement	3.7.117
Durée d'arc	3.7.122
Durée d'insertion	3.7.123
Durée d'ouverture-fermeture	3.7.127
Durée d'ouverture	3.7.121
Durée de coupure-établissement (pendant la refermeture automatique)	3.7.128
Durée de contournement	3.7.125
Durée de fermeture	3.7.124
Durée de mise en contournement – insertion	3.7.129
Durée de préarc	3.7.126
Durée minimale de l'ordre d'ouverture	3.7.130
Durée minimale de l'ordre de fermeture	3.7.131

E

Échauffement (d'une partie d'un interrupteur de contournement)	3.1.105
Éclateur de contournement (éclateur de protection)	3.8.13
Éclateur principal	3.8.19
Élément de contournement (ou d'insertion)	3.5.121
Ensembles	3.2
Enveloppe	3.5.123
Équipement d'amortissement limitant le courant	3.8.15
Essai sur élément	3.1.107

F

Fonctionnement	3.6
----------------	-----

I

Indicateur de position	3.5.118
Insertion	3.8.16
Interrupteur auxiliaire	3.5.111
Interrupteur de contournement à dispositif de verrouillage empêchant l'ouverture	3.6.117
Interrupteur de contournement de classe M1	3.4.104
Interrupteur de contournement de classe M2	3.4.105
Interrupteur de contournement	3.4.103

Isolation autorégénératrice	3.1.110
Isolation externe	3.1.108
Isolation interne	3.1.109
Isolation non autorégénératrice	3.1.111

M

Manœuvre à accumulation d'énergie	3.6.110
Manœuvre d'ouverture	3.6.105
Manœuvre de fermeture	3.6.104
Manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure	3.6.109
Manœuvre effectuée positivement	3.6.108
Manœuvre indépendante manuelle	3.6.111
Manœuvre positive d'ouverture	3.6.107
Manœuvre	3.6.101
Mécanisme d'entraînement	3.5.124
Mécanisme d'entraînement alternatif	3.5.126
Module (d'un interrupteur de contournement)	3.5.122
Module (pas de commutation du condensateur)	3.8.20

N

Niveau d'isolement	3.7.132
Niveau de protection U_{PL}	3.8.22

P

Parties d'ensembles	3.3
Performance en réamorçage	3.1.113
Pièce de contact	3.5.106
Pôle	3.5.101
Position d'ouverture	3.6.113
Position de fermeture	3.6.112
Pouvoir de fermeture en court-circuit	3.7.110
Pression minimale pour la manœuvre	3.7.135
Pression minimale pour le contournement, l'insertion et l'isolement	3.7.136
Protection de la batterie	3.8.10

R

Raccord (par boulons ou dispositifs équivalents)	3.5.119
Réactance assignée (d'un condensateur) X_N	3.8.5
Réallumage (d'un appareil mécanique de connexion à courant alternatif)	3.1.114
Réamorçage (d'un appareil mécanique de connexion à courant alternatif)	3.1.115
Réinsertion	3.8.23
Réouverture automatique	3.6.106
Résistance non linéaire (varistance)	3.8.21

S

Segment (d'un condensateur série)	3.8.9
Séquence de manœuvres	3.6.103
Surtension (dans un réseau)	3.1.106
Surtension temporaire	3.8.26

T

Température de l'air ambiant	3.1.104
Tension appliquée	3.7.113
Tension assignée (d'un condensateur) U_N	3.8.6
Tension d'arc de crête	3.7.116
Tension d'insertion	3.8.18
Tension de limitation (U_{LIM})	3.8.7
Tension de réinsertion	3.8.25
Tension de rétablissement à fréquence industrielle	3.7.115
Tension de rétablissement	3.7.114
Tension de tenue à fréquence industrielle	3.7.133

Tension de tenue aux chocs	3.7.134
V	
Valeur assignée	3.7.101
Valeur de crête du courant admissible	3.7.112
~~Valeur de crête du courant de contournement transitoire~~	~~3.7.106~~
Valeur de crête du courant présumé	3.7.103
Valeur de crête du courant	3.7.104

4 Caractéristiques assignées

Les caractéristiques d'un interrupteur de contournement, y compris celles de ses dispositifs de commande et de son équipement auxiliaire, qui doivent servir à fixer les caractéristiques assignées sont les suivantes.

Caractéristiques assignées à indiquer pour tous les interrupteurs de contournement

- a) tension assignée par rapport à la terre et entre les bornes de l'élément de contournement;
- b) niveau d'isolation assigné par rapport à la terre et entre les bornes de l'élément de contournement;
- c) fréquence assignée;
- d) courant assigné en service continu;
- e) courant de courte durée admissible assigné;
- f) valeur de crête du courant admissible assigné;
- g) durée de court-circuit assignée;
- h) tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires;
- i) fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires;
- j) pressions assignées d'alimentation en gaz comprimé et/ou du circuit hydraulique, pour la manœuvre, l'insertion, le contournement et l'isolement là où cela est applicable;
- k) courant assigné de contournement;
- l) courant assigné d'insertion (dans le circuit de contournement);
- m) tension assignée de réinsertion (valeur de crête);
- n) séquence de manœuvres assignée;
- o) durées assignées.

Les caractéristiques assignées de l'interrupteur de contournement sont rattachées à la séquence de manœuvres assignée.

4.1 Tension assignée (U_T)

Le paragraphe 4.1 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant.

4.1.101 Tension assignée par rapport à la terre (U_{re})

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

4.1.102 Tension assignée entre les bornes de l'interrupteur de contournement (U_{rp})

La tension appliquée entre les bornes de l'interrupteur de contournement doit être déterminée en multipliant la réactance assignée de la batterie de condensateurs série ou du segment ($X_N = 1/\omega C_N$) par son courant assigné (I_N). La tension assignée (de phase à phase) de

l'interrupteur de contournement doit être égale ou supérieure à la tension calculée à partir de la tension appliquée (multipliée par $\sqrt{3}$) et arrondie à la valeur normalisée immédiatement supérieure indiquée en 4.1 de la CEI 62271-1.

NOTE Les surcharges de longue durée (plusieurs minutes) peuvent être prises en compte lors de la détermination d'une tension assignée entre les bornes d'un interrupteur de contournement.

4.2 Niveau d'isolement assigné

Le paragraphe 4.2 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant.

4.2.101 Niveau d'isolement assigné par rapport à la terre

Les valeurs normales des tensions de tenue assignées par rapport à la terre sont données dans les Tableaux 1a, 1b, 2a et 2b de la CEI 62271-1.

4.2.102 Niveau d'isolement assigné entre les bornes de l'interrupteur de contournement

Les valeurs normales des tensions d'isolement assignées entre les bornes de l'interrupteur de contournement sont données dans les Tableaux 1a, 1b, 2a et 2b de la CEI 62271-1 pour la tension assignée correspondante aux bornes de l'interrupteur de contournement. Les niveaux d'isolement assignés doivent être déterminés conformément à 6.1.3 de la CEI 60143-1.

NOTE Les niveaux d'isolement pour les isolants et les équipements des condensateurs série montés sur la plate-forme support sont indiqués en référence à la plate-forme. Des niveaux d'isolement supérieurs peuvent être nécessaires pour les installations à des altitudes supérieures à 1 000 m. Il convient que le niveau d'isolement des isolateurs et des équipements sur la plate-forme soit choisi en fonction du niveau de protection établi par le dispositif de protection contre les surtensions en utilisant l'équation ci-dessous. L'équation s'applique à l'isolement entre les bornes de la totalité du segment en utilisant le niveau de protection de ce segment. Elle s'applique également à l'isolement au sein du segment en utilisant le niveau de protection applicable entre les bornes de cette partie du segment.

$$U_{ipf} \geq 1,2 U_{PL} / \sqrt{2}$$

où

U_{ipf} est la tension de tenue à fréquence industrielle (efficace);

U_{PL} est le niveau de protection.

4.3 Fréquence assignée (f_r)

Le paragraphe 4.3 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant:

Les valeurs normales de la fréquence assignée aux interrupteurs de contournement à haute tension sont 50 Hz et 60 Hz.

4.4 Courant assigné en service continu (I_r) et échauffement

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

4.5 Courant de courte durée admissible assigné (I_k)

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

4.6 Valeur de crête du courant admissible assigné (I_p)

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

4.7 Durée de court-circuit assignée (t_k)

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

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

Le paragraphe 4.8 de la CEI 62271-1 est généralement applicable. Les tolérances indiquées en 4.8.3 et en 5.8.1 de la CEI 62271-1 pour les déclencheurs shunt d'ouverture doivent être appliquées aux déclencheurs shunt de fermeture.

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

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

4.10 Pression assignée d'alimentation en gaz comprimé pour l'isolement, la manœuvre et/ou le contournement et l'insertion

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

4.101 Séquence de manœuvres assignée

Les caractéristiques assignées de l'interrupteur de contournement sont rattachées à la séquence de manœuvres assignée.

$$C - t - OC - t' - OC$$

Sauf spécification contraire:

- $t = 0,3$ s pour les interrupteurs de contournement prévus pour fonctionner en réouverture automatique rapide (durée de contournement – insertion);
- $t' = 3$ min.

~~NOTE 1 — Au lieu de $t' = 3$ min, d'autres valeurs: $t' = 15$ s et $t' = 1$ min sont aussi utilisées pour les interrupteurs de contournement prévus pour fonctionner en réouverture automatique rapide.~~

~~NOTE 2 — D'autres séquences de manœuvres peuvent être spécifiées suivant les exigences du système. Un exemple est $C - t - OC - t - OC - t' - OC$.~~

où

C représente une manœuvre de fermeture;

OC représente une manœuvre d'ouverture suivie immédiatement (c'est-à-dire sans délai intentionnel) d'une manœuvre de fermeture;

t et t' sont les intervalles de temps entre les manœuvres successives;

t et t' devraient toujours être exprimés en minutes ou en secondes.

Si la durée de contournement-insertion est réglable, il convient de spécifier les limites de réglage.

~~NOTE 3 1~~ Au lieu de $t = 0,3$ s, une autre valeur $t = 0,2$ s est aussi utilisée pour les interrupteurs de contournement prévus pour fonctionner en réouverture automatique rapide.

~~NOTE 2~~ Au lieu de $t' = 3$ min, d'autres valeurs: $t' = 15$ s et $t' = 1$ min sont aussi utilisées pour les interrupteurs de contournement prévus pour fonctionner en réouverture automatique rapide.

~~NOTE 3~~ D'autres séquences de manœuvres peuvent être spécifiées suivant les exigences du système.

4.102 Courant assigné de contournement (I_{BP})

Le ~~courant pouvoir de fermeture~~ assigné du courant de contournement est la valeur ~~maximale de crête~~ du courant de contournement établi que l'interrupteur de contournement doit être capable d'établir dans des conditions de défaut de ligne lorsque la batterie de condensateurs est préchargée à la tension de limitation du dispositif de protection contre les surtensions (U_{PL}) et à une fréquence du courant de décharge de contournement correspondant à la capacité réelle de la batterie de condensateurs avec l'inductance associée du circuit d'amortissement. L'amortissement effectif du courant de décharge de contournement peut être pris en considération.

Ce courant doit être égal à la somme de la composante de courant de décharge de la batterie de condensateurs et de la composante de courant de défaut à fréquence industrielle (voir 3.7.106). Il convient généralement que la composante de courant de défaut à fréquence industrielle soit égale au courant maximum de coordination de la varistance.

NOTE ~~Il convient de déterminer le courant assigné de contournement par des études du réseau comme étant la somme du courant crête de décharge de la batterie de condensateurs et de la composante crête du courant de défaut dans l'intervalle entre l'amorçage du courant dans l'interrupteur de contournement et le toucher des contacts (durée de préarc). Il convient de déterminer le courant assigné de contournement par des études du réseau comme étant la somme maximale du courant de décharge instantané de la batterie de condensateurs et de la valeur instantanée de la composante relative au courant de défaut durant la durée de préarc (voir aussi CEI 60143-2). Une valeur du préarc de 5 ms est suggérée dans le cas où cette information n'est pas disponible.~~

Les performances relatives au contournement sont couvertes lorsque la valeur de crête requise du courant de contournement établi est égale ou inférieure à la valeur de crête utilisée pour l'essai de type considéré. Cette règle est considérée valide seulement lorsque la fréquence f_{BP} du courant de contournement établi est égale ou inférieure à 130 % de la valeur correspondante utilisée lors des essais de type.

Il est généralement impossible d'assigner des caractéristiques spécifiques, car celles-ci sont propres aux paramètres de chaque projet. L'Annexe D contient des exemples de caractéristiques d'un interrupteur de contournement. Les valeurs préférées pour le courant assigné de contournement et pour la fréquence sont néanmoins:

I_{BP} : 63 kA crête – 100 kA crête et 125 kA crête

f_{BP} : 500 Hz et 1 000 Hz

4.103 Courant assigné d'insertion (dans le circuit de contournement, I_{INS})

Le courant assigné d'insertion de contournement est la valeur efficace du courant à la fréquence industrielle que l'interrupteur de contournement doit être capable de transférer de la branche du circuit de contournement vers la branche principale des condensateurs série sous la tension de réinsertion assignée. Il est impossible d'assigner des caractéristiques spécifiques, car celles-ci sont propres aux paramètres de chaque projet. L'Annexe D contient des exemples de caractéristiques d'un interrupteur de contournement.

NOTE Il convient que le courant assigné d'insertion de contournement soit prélevé de la série R10 et celui-ci peut être égal ou inférieur au courant assigné de la batterie de condensateurs.

4.104 Tension assignée de réinsertion (U_{INS})

La tension assignée de réinsertion est la valeur de crête de la tension de rétablissement transitoire que l'interrupteur de contournement doit être capable de supporter sans réamorçage pendant le transfert du courant assigné d'insertion.

La tension de réinsertion transitoire doit généralement être égale à U_{PL} pour tenir compte de toutes les conditions de surcharge en situation d'urgence et des fluctuations de la puissance qui pourraient donner lieu à des tensions d'insertion transitoires jusqu'au niveau de protection du dispositif de protection contre les surtensions.

Plusieurs formes d'onde de tension de réinsertion transitoire peuvent être obtenues en service. Il convient de déterminer la forme d'onde de la tension de réinsertion par des études de système. Pour des raisons de normalisation, et en vue de couvrir le plus grand nombre de situations pratiques, la présente norme recommande une forme d'onde «1-cos» dont la durée préférée pour atteindre la première crête est de 5,6 ms. D'autres formes d'onde peuvent être requises et il convient de les spécifier clairement au constructeur au moment de la demande.

Il est impossible d'assigner des caractéristiques spécifiques, car celles-ci sont propres aux paramètres de chaque projet. L'Annexe D contient des exemples de caractéristiques d'un interrupteur de contournement. L'Annexe F contient des informations supplémentaires concernant la tension de rétablissement transitoire pendant la réinsertion.

NOTE 1 Aucune valeur recommandée spécifique ne peut être donnée pour la tension de réinsertion transitoire, car cette valeur dépend des paramètres de conception du condensateur série (impédance capacitive, courant assigné en service continu de la batterie de condensateur, niveau de protection du dispositif de protection contre les surtensions, courant de surcharge en situation d'urgence et fluctuations de la puissance). Voir l'Annexe F pour plus d'informations.

NOTE 2 Pour couvrir la majorité des applications à 50 Hz et à 60 Hz avec une seule séquence d'essai, la tension de rétablissement transitoire a été définie avec une durée jusqu'à la première crête de 5,6 ms.

4.105 Durées assignées

Se reporter aux Figures 1, 2 et 3.

Des valeurs assignées doivent être données pour les durées suivantes:

- durée d'ouverture (à vide);
- durée de fermeture maximale (à vide);
- durée d'ouverture-fermeture maximale (à vide).

Les durées assignées se rapportent

- à la tension assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de commande (voir 4.8),
- à la fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires (voir 4.9),
- aux pressions assignées d'alimentation en gaz comprimé pour la manœuvre, pour l'isolement et/ou pour le contournement et l'insertion, si applicable (voir 4.10),
- à la pression assignée d'alimentation hydraulique pour la manœuvre,
- à la température de l'air ambiant de $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

NOTE 1 L'assignation d'une valeur assignée de la durée de contournement ou de la durée de contournement-insertion n'a habituellement pas d'utilité pratique à cause de la variation de la durée d'arc et de la durée de préarc.

NOTE 2 Il convient d'indiquer aussi la durée de fermeture maximale (à vide) et la durée d'ouverture-fermeture maximale (à vide) pour les tensions d'alimentation minimales, la pression maximale de l'alimentation en gaz comprimé pour la manœuvre, pour l'isolement et/ou le contournement et l'insertion, si applicable (voir 4.10), et la pression minimale de l'alimentation hydraulique pour la manœuvre.

4.106 Nombre de manœuvres mécaniques

Un interrupteur de contournement doit être capable d'effectuer le nombre de manœuvres suivant (tel qu'il est défini en 6.101.2.3 et dans le Tableau 3 pour les essais de type) en tenant compte du programme de maintenance spécifié par le constructeur.

Interrupteur de contournement standard (endurance mécanique normale) classe M1	2 000 séquences de manœuvres
Interrupteur de contournement pour des exigences spéciales de service (endurance mécanique accrue)	10 000 séquences de

classe M2	manœuvres
-----------	-----------

5 Conception et construction

5.1 Exigences pour les liquides utilisés dans les interrupteurs de contournement

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

5.2 Exigences pour les gaz utilisés dans les interrupteurs de contournement

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

5.3 Mise à la terre des interrupteurs de contournement

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

5.4 Équipements auxiliaires

Le paragraphe 5.4 de la CEI 62271-1 est applicable avec les compléments suivants:

- lorsque des déclencheurs shunt d'ouverture et de fermeture sont utilisés, des mesures appropriées doivent être prises pour éviter d'endommager les déclencheurs quand des ordres sont maintenus en permanence à l'ouverture ou à la fermeture. Par exemple, des contacts de commande en série peuvent être utilisés pour que lorsque l'interrupteur de contournement est fermé, le contact du déclencheur de fermeture (contact «b» ou contact d'ouverture) est ouvert et le contact de commande du déclencheur d'ouverture (contact «a» ou contact de fermeture) est fermé, et lorsque l'interrupteur de contournement est ouvert, le contact de commande du déclencheur d'ouverture est ouvert et le contact de commande du déclencheur de fermeture est fermé;

NOTE 1 Des systèmes autres que des contacts sont possibles et peuvent être utilisés.

- pour les déclencheurs shunt de fermeture, des mesures de protection des déclencheurs shunt de fermeture (le contact «b»), comme indiqué dans le premier alinéa ci-dessus, ne doivent pas s'ouvrir avant la durée minimale de l'ordre de fermeture (3.7.131) exigée par l'interrupteur de contournement, ni après la durée de fermeture assignée;

NOTE 2 Si le courant du déclencheur shunt de fermeture est coupé par le contact de commande, il convient que la durée de l'ordre de fermeture soit avec certitude plus longue que la durée de fermeture assignée.

- pour les déclencheurs shunt d'ouverture, des mesures de protection des déclencheurs shunt d'ouverture (le contact «a»), comme indiqué dans le premier alinéa ci-dessus, ne doivent pas s'ouvrir avant la durée minimale de l'ordre d'ouverture (3.7.130) exigée par l'interrupteur de contournement et pas plus tard que 20 ms après la séparation des contacts principaux;
- dans le cas d'exigences de courte durée d'ouverture-fermeture, des mesures de protection des déclencheurs shunt de fermeture (le contact «b»), comme indiqué dans le premier alinéa ci-dessus, ne doivent pas se fermer avant l'ouverture du contact «a»;
- lorsque des contacts auxiliaires sont utilisés comme indicateurs de position, ils doivent indiquer la position finale de l'interrupteur de contournement au repos, ouvert ou fermé. La signalisation doit être maintenue;
- les connexions doivent supporter les contraintes imposées par l'interrupteur de contournement, spécialement celles qui sont dues aux efforts mécaniques pendant les manœuvres;
- tous les équipements auxiliaires, y compris le câblage, doivent être protégés correctement contre la pluie et l'humidité;
- lorsqu'on utilise des équipements de commande particuliers, ils doivent fonctionner dans les limites spécifiées pour les tensions d'alimentation des circuits auxiliaires et de

commande, et pour les fluides pour la manœuvre, la coupure et/ou l'isolement, de plus il doit pouvoir manœuvrer les charges indiquées par le constructeur de l'interrupteur de contournement;

- les équipements auxiliaires spéciaux tels qu'indicateurs de niveau de liquide, indicateurs de pression, soupapes de sécurité, équipement de remplissage et de vidange, chauffage et contacts de verrouillage, doivent fonctionner dans les limites spécifiées des tensions d'alimentation des circuits auxiliaires et de commande et/ou dans les limites d'utilisation des fluides de manœuvre, de coupure et/ou d'isolement;
- la puissance consommée par les résistances de chauffage à la tension assignée doit avoir la valeur indiquée par le constructeur à $\pm 10\%$ près;
- lorsque des dispositifs d'anti-pompage font partie du schéma de commande de l'interrupteur de contournement, et si l'installation en comporte plus d'un, ils doivent agir sur chaque circuit de commande;
- lorsqu'un schéma de contrôle de discordance de phases fait partie de l'interrupteur de contournement, la position des pôles, ouvert ou fermé, doit être surveillée. La fermeture d'un pôle doit provoquer la fermeture des pôles restants. Chaque interrupteur de contournement doit être verrouillé de manière similaire pour la manœuvre d'ouverture.

5.5 Manœuvre dépendante à source d'énergie extérieure

Le paragraphe 5.5 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant:

- un interrupteur de contournement configuré pour une ouverture dépendante d'une source d'énergie extérieure doit également être capable de se fermer immédiatement après une manœuvre d'ouverture.

5.6 Manœuvre à accumulation d'énergie

Le paragraphe 5.6 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant au premier alinéa.

Un interrupteur de contournement configuré pour une manœuvre à accumulation d'énergie doit également être capable de se fermer immédiatement après une manœuvre d'ouverture.

5.7 Manœuvre manuelle indépendante

Le paragraphe 5.7 de la CEI 62271-1 ne s'applique pas aux interrupteurs de contournement.

5.8 Fonctionnement des déclencheurs

Le paragraphe 5.8 de la CEI 62271-1 ne s'applique généralement pas et doit être remplacé par ce qui suit.

5.8.1 Déclencheurs à fermeture shunt

Un déclencheur à fermeture shunt doit fonctionner correctement sous toutes les conditions de manœuvre de l'appareil de connexion jusqu'à son courant assigné de contournement, et entre 70 % dans le cas du courant continu – ou 85 % dans le cas du courant alternatif – et 110 % de la tension d'alimentation assignée du dispositif de fermeture (voir 4.8), la fréquence dans le cas du courant alternatif étant la fréquence d'alimentation assignée du dispositif de fermeture (voir 4.9).

5.8.2 Déclencheurs à fermeture ouverture

Un déclencheur à ouverture shunt doit fonctionner correctement entre 85 % et 110 % de la tension d'alimentation assignée du dispositif d'ouverture (voir 4.8), la fréquence dans le cas du courant alternatif étant la fréquence d'alimentation assignée du dispositif d'ouverture (voir 4.9).

5.8.3 Fonctionnement du condensateur des déclencheurs à shunt

Le paragraphe 5.8.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

5.8.4 Déclencheur à minimum de tension

Le paragraphe 5.8.4 de la CEI 62271-1 ne s'applique pas aux interrupteurs de contournement.

5.8.101 Déclencheurs multiples

Si un interrupteur de contournement est équipé de plusieurs déclencheurs multiples de même fonction, un défaut sur un déclencheur ne doit pas influencer sur le fonctionnement des autres. Les déclencheurs qui sont utilisés pour la même fonction doivent être physiquement distincts, c'est-à-dire découplés magnétiquement.

5.8.102 Limites de fonctionnement des déclencheurs

La durée minimale d'ouverture des déclencheurs shunt d'ouverture et la durée minimale de commande des déclencheurs shunt de fermeture à la tension d'alimentation assignée ne doit pas être inférieure à 2 ms.

De façon à prévenir l'opération intempestive causée par des tensions parasites qui peuvent être présentes dans les circuits de commande, la tension minimale d'alimentation pour la manœuvre des déclencheurs shunt ne doit pas être inférieure à 20 % de la tension d'alimentation assignée.

5.8.103 Puissance consommée par les déclencheurs

La puissance consommée par les déclencheurs shunt, d'ouverture ou de fermeture, d'un interrupteur de contournement tripolaire ne doit pas dépasser 1 200 VA. Pour certaines conceptions d'interrupteurs de contournement, des valeurs plus élevées peuvent être nécessaires.

5.9 Verrouillages à basse et à haute pression

Le paragraphe 5.9 de la CEI 62271-1 est remplacé par ce qui suit.

Tous les interrupteurs de contournement à accumulation d'énergie dans des réservoirs à gaz ou dans des accumulateurs hydrauliques (voir 5.6.1 de la CEI 62271-1) et tous les interrupteurs de contournement utilisant un gaz comprimé pour le contournement et l'insertion (voir 5.103), à l'exception des appareils à pression scellés, doivent être équipés d'un dispositif de verrouillage à basse pression, et peuvent aussi être équipés d'un dispositif de verrouillage à haute pression, réglés pour fonctionner aux valeurs limites appropriées de la pression ou à l'intérieur des limites de pression indiquées par le constructeur.

5.10 Plaques signalétiques

Le paragraphe 5.10 de la CEI 62271-1 est applicable avec les compléments suivants: les plaques signalétiques d'un interrupteur de contournement et de ses dispositifs de manœuvre doivent être marquées conformément au Tableau 1.

Les bobines des dispositifs de manœuvre doivent porter un repère permettant de retrouver les indications complètes chez le constructeur.

Les déclencheurs doivent porter les indications appropriées.

La plaque signalétique doit être visible dans les positions de service et de montage normales.

Tableau 1 – Informations sur la plaque signalétique

	Abrévia- tion	Unité	Interrup- teur de contour- nement	Dispositif de manœuvre	Condition: marquage nécessaire seulement si
1	2	3	4	5	6
Constructeur			X	X	
Désignation du type et numéro de série			X	X	
Tension assignée par rapport à la terre	U_{re}	kV	X		
Tension assignée entre les bornes de l'interrupteur de contournement	U_{rp}	kV	X		
Tension de tenue assignée aux chocs de foudre par rapport à la terre	U_{pe}	kV	X		
Tension de tenue assignée aux chocs de foudre entre les bornes de l'interrupteur de contournement	U_{pp}	kV	X		
Tension de tenue assignée aux chocs de manœuvre par rapport à la terre	U_{se}	kV	y		Tension assignée supérieure ou égale à 300 Kv
Tension de tenue assignée aux chocs de manœuvre entre les bornes de l'interrupteur de contournement	U_{sp}	kV	y		Tension assignée supérieure ou égale à 300 kV
Fréquence assignée	f_r	Hz	y		Les caractéristiques assignées ne sont pas applicables simultanément à 50 Hz et 60 Hz
Courant assigné en service continu	I_r	A	X		
Durée de court-circuit assignée	t_k	s	y		Différente de 1 s
Courant de courte durée admissible assigné	I_k	kA	X		
Valeur de crête du courant admissible assigné	I_p	kA	X		
Courant assigné de contournement	I_{BP}	kA	X		
Fréquence du courant assigné de contournement	f_{BP}	Hz	X		
Courant assigné d'insertion	I_{INS}	A	X		
Tension de réinsertion assignée	U_{INS}	kV	X		
Pression de remplissage assignée pour la manœuvre	p_{rm}	MPa		(X)	
Pression de remplissage assignée pour le contournement et l'insertion	p_{re}	MPa	(X)		
Tension assignée d'alimentation des dispositifs de manœuvre pour la fermeture et l'ouverture	U_{op}	V		(X)	
Fréquence assignée d'alimentation des dispositifs de manœuvre pour la fermeture et l'ouverture		Hz		(X)	

Tableau 1 (suite)

	Abrévia- tion	Unité	Interrup- teur de contour- nement	Dispositif de manœuvre	Condition: marquage nécessaire seulement si
1	2	3	4	5	6
Tension assignée d'alimentation des circuits auxiliaires	U_a	V		(X)	
Fréquence assignée d'alimentation des circuits auxiliaires		Hz		(X)	
Masse (y compris l'huile pour les interrupteurs de contournement à huile)	M	kg	y	y	Supérieure à 300 kg
Masse de fluide pour le contournement et l'insertion	m	kg	y		Si interrupteurs de contournement à huile ou gaz
Séquence de manœuvres assignée			X		
Année de fabrication			X		
Classe de températures			y	y	Différente de –25 °C à l'extérieur
Classe			y		Différente de M1
Date de diffusion de la norme de référence			X	X	
NOTE Les abréviations de la colonne 2 peuvent être utilisées à la place des termes de la colonne 1. Lorsque les termes de la colonne 1 sont employés, il n'est pas nécessaire de faire apparaître le mot «assigné».					
X = le marquage de ces valeurs est obligatoire; pour ces valeurs, les indications qui n'apparaissent pas sur la plaque sont supposées avoir une valeur nulle;					
(X) = le marquage de ces valeurs est facultatif;					
y = le marquage de ces valeurs dépend des conditions figurant à la colonne 6.					

5.11 Verrouillages

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

Voir aussi 5.4.

5.12 Indicateur de position

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

5.13 Degrés de protection procurés par les enveloppes

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

5.14 Lignes de fuite

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

5.15 Étanchéité au gaz et au vide

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

5.16 Étanchéité au liquide

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

5.17 Inflammabilité

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

5.18 Compatibilité électromagnétique

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

5.19 Emission de rayons X

Le paragraphe 5.19 de la CEI 62271-1 est applicable seulement lorsque des ampoules à vide sont utilisées comme interrupteurs de contournement.

5.20 Corrosion

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

5.101 Exigences de simultanéité au sein d'un pôle

Si un pôle possède plusieurs éléments de contournement connectés en série, la différence maximale entre les instants de séparation des contacts ou du toucher des contacts de ces éléments de contournement en série ne doit pas dépasser un huitième de cycle à la fréquence assignée.

NOTE L'écart de synchronisme entre les pôles n'est normalement pas considéré à moins qu'une opération monopolaire d'un interrupteur de contournement soit interdite pour l'opération du réseau.

5.102 Exigence générale de fonctionnement

Un interrupteur de contournement, y compris ses organes de manœuvre, doit pouvoir effectuer sa séquence de manœuvres assignée (4.101) conformément aux dispositions correspondantes de 5.5 à 5.9 et de 5.103, pour toute température ambiante de sa classe telle qu'elle est définie dans l'Article 2 de la CEI 62271-1.

Cette exigence n'est pas applicable aux organes de manœuvre manuels auxiliaires; lorsqu'ils sont fournis, ils ne doivent être utilisés que pour l'entretien et pour des manœuvres de secours sur un circuit hors tension.

Les interrupteurs de contournement munis de dispositifs de chauffage doivent être conçus pour autoriser une manœuvre de fermeture à la température ambiante minimale, définie par la classe de températures, lorsque le chauffage ne fonctionne pas pendant une durée minimale de 2 h.

5.103 Limites de pression des fluides pour la manœuvre

Le constructeur doit indiquer les pressions minimales et maximales du fluide pour la manœuvre pour lesquelles l'interrupteur de contournement est capable de fonctionner suivant ses caractéristiques assignées et auxquelles les dispositifs de verrouillage à basse et haute pressions appropriés doivent être réglés (voir 5.9). Le constructeur doit indiquer les pressions minimales pour la manœuvre, le contournement et l'insertion (voir 3.7.135 et 3.7.136).

Le constructeur peut spécifier les limites de pression pour lesquelles l'interrupteur de contournement est capable d'effectuer chacune des performances suivantes:

- a) établir son courant assigné de contournement, c'est-à-dire une manœuvre «C»;
- b) réinsérer son courant assigné d'insertion, suivi immédiatement de l'établissement de son courant assigné de contournement, c'est-à-dire un cycle de manœuvre «OC»;
- c) pour les interrupteurs de contournement prévus pour la réinsertion automatique rapide: l'établissement de son courant assigné de contournement suivi, après un intervalle de

temps t de la séquence de manœuvres assignée (4.101), par la réinsertion de son courant assigné d'insertion, immédiatement suivie par un nouvel établissement de son courant assigné de contournement, c'est-à-dire une séquence de manœuvres «C – t – OC».

L'interrupteur de contournement doit comporter des réserves d'énergie de capacité suffisante pour lui permettre d'accomplir de façon satisfaisante les manœuvres appropriées aux pressions minimales correspondantes indiquées.

5.104 Orifices d'évacuation

Les orifices d'évacuation sont des dispositifs qui permettent l'échappement délibéré de la pression contenue dans un interrupteur de contournement pendant une manœuvre.

NOTE Cela est applicable aux interrupteurs de contournement à air comprimé et à huile.

Les orifices d'évacuation des interrupteurs de contournement doivent être placés de telle sorte que l'évacuation des vapeurs d'huile, du gaz ou des deux, ne provoque pas d'amorçage électrique et soit dirigée en dehors de toute zone dans laquelle une personne quelconque est susceptible de se trouver. La distance nécessaire de sécurité doit être indiquée par le constructeur.

La construction doit être telle que le gaz ne puisse s'accumuler à un endroit quelconque où l'inflammation peut être provoquée, pendant ou après la manœuvre, par des étincelles dues à la manœuvre normale de l'interrupteur de contournement ou de ses équipements auxiliaires.

6 Essais de type

L'Article 6 de la CEI 62271-1 est applicable avec les compléments suivants.

Les essais de type pour les interrupteurs de contournement sont donnés dans le Tableau 2.

Tous les essais de type doivent être effectués en utilisant le nombre de spécimens d'essais spécifié en 6.1.1 de la CEI 62271-1 et en 6.102.2.

Pour les essais de type, les tolérances sur les grandeurs d'essais sont données dans l'Annexe A.

En principe, chaque essai de type doit être effectué sur un interrupteur de contournement à l'état neuf et propre. Dans le cas des interrupteurs de contournement qui utilisent le SF₆ pour l'isolement, le contournement et l'insertion et/ou la manœuvre, la qualité du gaz doit au moins satisfaire aux critères d'acceptation de la CEI 60480.

La responsabilité du constructeur est limitée aux valeurs spécifiées et non aux valeurs obtenues au cours des essais de type.

L'incertitude des mesures effectuées par un oscillographe ou par des équipements équivalents (par exemple enregistreur de transitoire), incluant tous ses dispositifs associés, sur les grandeurs qui définissent les caractéristiques assignées (par exemple courant de contournement, tension appliquée et tension transitoire de rétablissement) doit être de $\pm 5\%$ (soit un facteur d'élargissement de 2,0).

NOTE Pour la signification du facteur d'élargissement, se référer au *Guide ISO sur les incertitudes de mesure* (1995, voir la bibliographie).

Tableau 2 – Essais de type

Essais de type obligatoires	Paragraphe
Essais diélectriques	6.2
Mesurage de la résistance du circuit principal	6.4
Essais d'échauffement	6.5
Essais au courant de courte durée et à la valeur de crête du courant admissible	6.6
Essais d'étanchéité	6.8
Essais additionnels des circuits auxiliaires et de commande	6.10
Essais mécaniques à température d'air ambiante	6.101.2
Essais de courant de contournement	6.104
Essais de courant d'insertion	6.105
Essais de type obligatoires, si applicables	Paragraphe
Essais de tension de perturbation radioélectrique	6.3
Vérification du degré de protection	6.7
Essais de compatibilité électromagnétique	6.9
Procédure d'essai des rayonnements X pour les ampoules de vide	6.11
Essais d'endurance mécanique accrue sur les interrupteurs de contournement prévus pour des exigences spéciales de service ^a	6.101.2.4
Essais à haute et à basse température	6.101.3
Essais avec des efforts statiques sur les bornes	6.101.6
Essais pour vérifier le fonctionnement dans des conditions sévères de formation de glace ^a	6.101.5
^a Un spécimen d'essai supplémentaire peut être utilisé.	

6.1 Généralités

6.1.1 Groupement des essais

Le paragraphe 6.1.1 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.1.2 Informations pour l'identification des spécimens d'essai

Le paragraphe 6.1.2 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.1.3 Informations à inclure dans les rapports d'essais de type

Le paragraphe 6.1.3 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant.

D'autres détails concernant les enregistrements et les rapports d'essais de type pour l'établissement du courant de contournement et les essais d'insertion sont donnés à l'Annexe B.

6.1.101 Essais non valables

Dans le cas d'essais non valables, il peut devenir nécessaire d'effectuer un nombre d'essais supérieur à celui qu'exige la présente norme. Un essai non valable est un essai au cours duquel au moins un paramètre d'essai exigé par la norme n'est pas atteint. Cela comprend, par exemple, les courants, les tensions, les temps, de même que les exigences de synchronisme sur l'onde (si spécifié) et les particularités complémentaires des essais synthétiques comme la manœuvre correcte de l'interrupteur auxiliaire et le temps d'injection correct.

Tout écart par rapport à la présente norme peut rendre l'essai plus ou moins sévère. Quatre cas différents sont envisagés dans le Tableau 3.

La partie non valable d'une séquence d'essais peut être répétée sans reconditionnement de l'interrupteur de contournement. En cas de défaillance de l'interrupteur de contournement au cours de ces essais supplémentaires, ou à la discrétion du constructeur l'interrupteur de contournement peut être reconditionné et la séquence d'essais complète répétée. Dans ces cas, le rapport d'essai doit comprendre la référence à l'essai non valable.

Si l'enregistrement d'une manœuvre ne peut pas être produit pour des raisons techniques, cette manœuvre est considérée comme valable dans la mesure où il peut être démontré que l'interrupteur de contournement n'a pas été en défaut et que les valeurs d'essai spécifiées étaient conformes.

Tableau 3 – Essais non valables

Conditions d'essais par rapport à la norme	Interrupteur de contournement	
	Réussit	Échoue
Plus sévère	Essai valable, résultat accepté	Essai à refaire avec les paramètres corrects Modification de la conception de l'interrupteur de contournement non nécessaire
Moins sévère	Essai à refaire avec les paramètres corrects Modification de la conception de l'interrupteur de contournement non nécessaire	L'interrupteur de contournement a échoué à l'essai. Une modification de la conception de l'interrupteur de contournement est nécessaire pour améliorer sa performance Essai à refaire avec l'interrupteur de contournement modifié

6.2 Essais diélectriques

6.2.1 Conditions de l'air ambiant pendant les essais

Le paragraphe 6.2.1 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.2.2 Modalité des essais sous pluie

Le paragraphe 6.2.2 de la CEI 62271-1 est applicable avec la note suivante:

NOTE Pour les interrupteurs de contournement à cuve mise à la terre, les essais sous pluie peuvent être omis lorsque les traversées ont été soumises aux essais au préalable suivant la norme CEI applicable.

6.2.3 Condition de l'interrupteur de contournement pendant les essais diélectriques

Le paragraphe 6.2.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.2.4 Critères de réussite des essais

Le paragraphe 6.2.4 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant.

La procédure d'essai B suivante, adaptée pour des appareils de connexion comprenant des isolations autorégénératrices et non autorégénératrices, est la procédure d'essai préférée pour les interrupteurs de contournement. L'interrupteur de contournement a réussi les essais aux chocs si les conditions suivantes sont remplies:

- a) chacune des séries a au moins 15 essais;

- b) aucune décharge disruptive ne doit se produire sur l'isolation non autorégénératrice. Cela est confirmé par 5 essais de tenue aux chocs consécutives suivant la dernière décharge disruptive;
- c) le nombre de décharges disruptives ne doit pas dépasser deux pendant chaque série complète.

Cette procédure conduit à un nombre maximal de 25 chocs par série.

La procédure C de la CEI 60060-1 peut être utilisée lorsque chacun des trois pôles est soumis aux essais.

Si des décharges disruptives se produisent et si la preuve que les décharges disruptives étaient exclusivement sur l'isolation autorégénératrice ne peut être donnée, l'interrupteur de contournement doit être démonté après les essais diélectriques et inspecté. Si un dommage de l'isolation non autorégénératrice est observé, l'interrupteur de contournement a échoué à l'essai.

NOTE 1 Si le facteur de correction atmosphérique K_t est inférieur à 1,00 mais supérieur à 0,95, il est permis de suivre le critère énoncé en 6.2.4 de la CEI 62271-1 si le facteur de correction n'est pas appliqué durant les essais. Si dans ces conditions, une ou deux décharges disruptives, sur les 15 chocs, se produisent sur l'isolation externe, la série d'essai particulière qui a montré un ou des contournements est répétée avec le facteur de correction approprié de façon à ce qu'aucune décharge disruptive externe ne se produise.

NOTE 2 Pour les interrupteurs de contournement d'appareillage à isolation gazeuse soumis aux essais avec des traversées d'essai qui ne font pas partie de l'interrupteur de contournement, il convient que les contournements aux bornes des traversées d'essai ne soient pas pris en compte.

NOTE 3 Il est recommandé que la détermination de la localisation des décharges disruptives faite par le laboratoire soit effectuée en utilisant des moyens de détection suffisants, comme photographies, enregistrements vidéo, inspection interne, etc.

6.2.5 Application de la tension d'essai et conditions d'essai

Le paragraphe 6.2.5 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.2.6 Essais des interrupteurs de contournement avec $U_{re} \leq 245 \text{ kV}$ ou $U_{rp} \leq 245 \text{ kV}$

Le paragraphe 6.2.6 de la CEI 62271-1 est applicable. Il est seulement nécessaire de réaliser cette série d'essais pour la partie de l'isolement qui répond aux critères ci-dessus.

6.2.6.1 Essais de tension à fréquence industrielle

Le paragraphe 6.2.6.1 de la CEI 62271-1 est applicable avec la note suivante:

NOTE Pour les interrupteurs de contournement à cuve mise à la terre, les essais sous pluie peuvent être omis lorsque les traversées ont été soumises aux essais au préalable suivant la norme CEI applicable.

6.2.6.2 Essais de tension de choc de foudre

Le paragraphe 6.2.6.2 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.2.7 Essais des interrupteurs de contournement avec $U_{re} > 245 \text{ kV}$ ou $U_{rp} > 245 \text{ kV}$

Le paragraphe 6.2.7 de la CEI 62271-1 est applicable. Il est seulement nécessaire de réaliser cette série d'essais pour la partie de l'isolement qui répond aux critères ci-dessus.

6.2.7.1 Essais de tension à fréquence industrielle

Le paragraphe 6.2.7.1 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant.

La procédure d'essai qui suit la méthode en variante est plus sévère que celle qui suit la méthode préférentielle.

6.2.7.2 Essais à la tension de choc de manœuvre

Le paragraphe 6.2.7.2 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant.

Les essais à sec doivent uniquement être effectués à la polarité positive. L'interrupteur de contournement étant en position de fermeture, on applique une tension d'essai égale à la tension de tenue assignée par rapport à la terre, pour chaque condition d'essai du Tableau 9 de la CEI 62271-1.

L'interrupteur de contournement étant en position d'ouverture, on applique une tension d'essai égale à la tension de tenue assignée entre les bornes de l'interrupteur de contournement ouvert, pour chaque condition d'essai du Tableau 9 de la CEI 62271-1.

6.2.7.3 Essais de tension de choc de foudre

Le paragraphe 6.2.7.3 de la CEI 62271-1 s'applique avec le complément suivant.

L'interrupteur de contournement étant en position de fermeture, on applique une tension d'essai égale à la tension de tenue assignée par rapport à la terre, pour chaque condition d'essai du Tableau 9 de la CEI 62271-1.

L'interrupteur de contournement étant en position d'ouverture, on applique une tension d'essai égale à la tension de tenue assignée entre les bornes de l'interrupteur de contournement ouvert, pour chaque condition d'essai du Tableau 9 de la CEI 62271-1.

6.2.8 Essais de pollution artificielle

Le paragraphe 6.2.8 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.2.9 Essais de décharges partielles

Le paragraphe 6.2.9 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant.

La réalisation d'essais de décharges partielles sur l'interrupteur de contournement complet n'est normalement pas demandée. Toutefois, pour les interrupteurs de contournement comportant des éléments auxquels s'applique une norme particulière de la CEI, et si cette norme particulière exige des mesurages de décharges partielles (par exemple les traversées, voir la CEI 60137), le constructeur doit prouver que ces éléments ont satisfait aux essais de décharges partielles prévus par la norme particulière de la CEI.

6.2.10 Essais des circuits auxiliaires et de commande

Le paragraphe 6.2.10 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.2.11 Essais de tension comme vérification d'état

Le paragraphe 6.2.11 de la CEI 62271-1 n'est pas applicable et est remplacé par la procédure suivante.

Lorsque après des essais mécaniques ou climatiques (voir 6.101.1.4), les propriétés d'isolement entre les contacts ouverts d'un interrupteur de contournement ne peuvent pas être vérifiées avec suffisamment de confiance par examen visuel, un essai de tenue de tension à fréquence industrielle à sec, conformément à 6.2.11 de la CEI 62271-1, entre les bornes de l'interrupteur de contournement ouvert, doit être appliqué comme vérification d'état. Pour les conceptions telles que les interrupteurs de contournement à cuve mise à la terre ou

sous enveloppe métallique à isolation gazeuse, pour lesquelles l'isolation à la terre peut être affectée, un essai de tenue de tension à fréquence industrielle à sec, conformément à 6.2.11 de la CEI 62271-1, à la terre, avec l'interrupteur de contournement en position fermé, doit également être effectué comme vérification d'état.

Lorsque après des essais de contournement et d'insertion (voir 6.102.9) un essai de tension est réalisé à des fins de contrôle, les conditions suivantes doivent s'appliquer.

Pour les interrupteurs de contournement ayant un arrangement asymétrique des pièces de passage du courant, les connexions doivent être interverties. Les essais complets doivent être effectués une fois pour chaque disposition des connexions.

Il est seulement nécessaire de réaliser cette série d'essais pour la partie de l'isolement qui répond aux critères ci-dessous.

- Interrupteurs de contournement avec $U_{re} \leq 72,5 \text{ kV}$ ou $U_{rp} \leq 72,5 \text{ kV}$
Un essai de tension à la fréquence industrielle de 1 min doit être effectué. La tension d'essai doit être égale à 80 % de la valeur indiquée dans le Tableau 1a, colonne (2) de la CEI 62271-1.
- Interrupteurs de contournement avec $72,5 \text{ kV} < U_{re} \leq 245 \text{ kV}$ ou $72,5 \text{ kV} < U_{rp} \leq 245 \text{ kV}$
Un essai de tension de choc doit être effectué. La valeur de crête de la tension de choc doit être égale à 60 % de la valeur la plus élevée applicable du Tableau 1a, colonne (4) de la CEI 62271-1.
- Interrupteurs de contournement avec $300 \text{ kV} \leq U_{re} \leq 420 \text{ kV}$ ou $300 \text{ kV} \leq U_{rp} \leq 420 \text{ kV}$
Un essai de tension de choc doit être effectué. La valeur de crête de la tension de choc doit être égale à 80 % de la tension de tenue au choc de manœuvre indiquée au Tableau 2a de la CEI 62271-1. La tension assignée de tenue aux chocs de manœuvre doit être relevée dans la colonne (4). La valeur de référence pour la vérification d'état doit être prise dans la même colonne.
- Interrupteurs de contournement avec $550 \text{ kV} \leq U_{re} \leq 800 \text{ kV}$ ou $550 \text{ kV} \leq U_{rp} \leq 800 \text{ kV}$
Un essai de tension de choc doit être effectué. La valeur de crête de la tension de choc doit être égale à 90 % de la tension de tenue au choc de manœuvre indiquée au Tableau 2a de la CEI 62271-1. La tension assignée de tenue aux chocs de manœuvre doit être relevée dans la colonne (4) de ce tableau. La valeur de référence pour la vérification d'état doit être prise dans la même colonne.

Lorsqu'un essai de tension de choc doit être effectué, cinq chocs de chaque polarité doivent être appliqués aux bornes de l'appareil de connexion et par rapport à la terre (si requis). L'interrupteur de contournement doit être considéré comme ayant réussi l'essai, s'il ne se produit aucune décharge disruptive.

Pour l'essai de tension de choc, on peut utiliser les équipements d'essai synthétique du laboratoire de puissance. La forme d'onde de la tension de choc doit être, soit un choc de manœuvre normal, soit une forme d'onde conforme à la tension transitoire de rétablissement spécifiée pour le défaut aux bornes T10 (voir la CEI 62271-100). Pour les essais avec la forme d'onde conforme à T10, des tolérances de ${}_{-10}^{+200} \%$ sont autorisées sur le temps t_3 .

NOTE 1 L'isolement aux bornes du pôle et la terre ne peut généralement pas être vérifié simultanément, car les niveaux d'isolement aux bornes du pôle sont différents des niveaux d'isolement par rapport à la terre. Un essai de vérification d'état supplémentaire peut s'avérer nécessaire.

NOTE 2 Pour les interrupteurs de contournement à cuve sous tension, l'isolation du pôle à terre n'est généralement pas influencée par les opérations de contournement et d'insertion et l'essai de tension comme vérification d'état par rapport à la terre n'est généralement pas requis. Pour les interrupteurs de contournement à cuve mise à la terre, l'isolation par rapport à la terre peut être affectée par les opérations de contournement et d'insertion et il est recommandé que l'essai de tension comme vérification d'état, si requis, soit aussi effectué entre pôle et terre.

NOTE 3 Des essais comparatifs ont montré qu'il n'y a pratiquement pas de différence dans le comportement des disjoncteurs, à l'état neuf ou usé, quand l'essai est effectué avec des chocs de manœuvre normalisé ou avec des impulsions de type TTR avec une forme d'onde conforme au défaut aux bornes T10.

NOTE 4 Si l'essai est effectué avec des impulsions de type TTR avec la forme d'onde T10, l'équivalence avec l'impulsion de choc de manœuvre est maintenue si les règles suivantes sont appliquées:

- il convient que l'amortissement de la tension transitoire soit tel que la deuxième crête de l'oscillation de la tension transitoire ne dépasse pas 80 % de la première;
- environ 2,5 ms après la crête, il convient que la valeur réelle de la tension de rétablissement soit de l'ordre de 50 % de la valeur de crête.

6.3 Essais de tension de perturbation radioélectrique

Le paragraphe 6.3 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant.

Les essais peuvent être effectués sur un pôle de l'interrupteur de contournement en position de fermeture uniquement. Pendant les essais, l'interrupteur de contournement doit être équipé de tous les accessoires tels que condensateurs de répartition, anneaux de garde, connecteurs HT, etc., qui peuvent influencer la performance de tension de perturbation radioélectrique.

NOTE Si l'interrupteur de contournement fait partie intégrante de la plate-forme de condensateurs série et que des essais de tension de perturbation radioélectrique ont été effectués sur la plate-forme, l'essai de tension de perturbation radioélectrique sur l'interrupteur de contournement est considéré couvert.

6.4 Mesurage de la résistance du circuit principal

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

6.5 Essais d'échauffement

6.5.1 État de l'interrupteur de contournement en essai

Le paragraphe 6.5.1 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.5.2 Disposition de l'appareil

Le paragraphe 6.5.2 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.5.3 Mesurage de la température et de l'échauffement

Le paragraphe 6.5.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.5.4 Température de l'air ambiant

Le paragraphe 6.5.4 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.5.5 Essais d'échauffement des équipements auxiliaires et de commande

Le paragraphe 6.5.5 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.5.6 Interprétation des essais d'échauffement

Le paragraphe 6.5.6 de la CEI 62271-1 est applicable.

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

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

6.6.1 Disposition de l'interrupteur de contournement et du circuit d'essai

Le paragraphe 6.6.1 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.6.2 Valeurs du courant d'essai et de sa durée

Le paragraphe 6.6.2 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.6.3 Comportement de l'interrupteur de contournement pendant l'essai

Le paragraphe 6.6.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.6.4 État de l'interrupteur de contournement après l'essai

Le paragraphe 6.6.4 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.7 Vérification du degré de protection

6.7.1 Vérification de la codification IP

Le paragraphe 6.7.1 de la CEI 62271-1 s'applique à toutes les parties des interrupteurs de contournement qui sont accessibles en service normal.

6.7.2 Essai aux impacts mécaniques (vérification de la codification IK)

Le paragraphe 6.7.2 de la CEI 62271-1 s'applique.

6.8 Essais d'étanchéité

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

Dans le cas d'un interrupteur de contournement à vide, la vérification d'étanchéité de l'isolation par le vide doit être réalisée à l'aide d'un essai à fréquence industrielle conformément à 6.2.11 ou par un essai équivalent.

6.9 Essais de compatibilité électromagnétique (CEM)

Le paragraphe 6.9 de la CEI 62271-1 est applicable avec l'ajout suivant.

6.9.2 Essai d'immunité à l'ondulation résiduelle sur entrée de puissance à courant continu

Le paragraphe 6.9.2 de la CEI 62271-1 est applicable avec l'ajout suivant.

Si aucun composant électronique n'est utilisé dans l'élément de commande et si l'essai de fonctionnement mécanique à la température de l'air ambiant conformément à 6.101.2 est effectué sur l'interrupteur de contournement complet, muni de son élément de commande entier, l'essai d'immunité à l'ondulation résiduelle sur entrée de puissance à courant continu conformément à 6.9.2 de la CEI 62271-1 est considéré comme couvert et les essais complémentaires doivent être omis. Lorsque les essais de l'interrupteur de contournement complet ne sont pas réalisables en pratique, les essais de composants conformément à 6.101.1.2 peuvent être acceptés.

Lorsque les composants électroniques sont utilisés, les essais conformément à 6.9.2 de la CEI 62271-1 sur les composants individuels sont suffisants.

NOTE Ce paragraphe est applicable à la fois aux cartes électroniques complètes (par exemple modules de commande) et aux dispositifs contenant au moins un composant électronique (par exemple relais de temporisation électroniques).

6.10 Essais additionnels des circuits auxiliaires et de commande

6.10.1 Général

Le paragraphe 6.10.1 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.10.2 Essais fonctionnels

Le paragraphe 6.10.2 de la CEI 62271-1 est applicable avec l'ajout suivant.

Si l'essai de fonctionnement mécanique à la température de l'air ambiant conformément à 6.101.2 est effectué sur l'interrupteur de contournement complet, muni de son élément de commande entier, les essais fonctionnels conformément à 6.10.2 de la CEI 62271-1 sont considérés comme couverts et les essais complémentaires doivent être omis. Lorsque les essais de l'interrupteur de contournement complet ne sont pas réalisables en pratique, les essais de composants conformément à 6.101.1.2 peuvent être acceptés.

6.10.3 Essai de continuité électrique des parties métalliques reliées à la terre

Le paragraphe 6.10.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.10.4 Vérification des caractéristiques de fonctionnement des contacts auxiliaires

Le paragraphe 6.10.4 de la CEI 62271-1 est applicable.

6.10.5 Essais d'environnement

Le paragraphe 6.10.5 de la CEI 62271-1 est applicable avec l'ajout suivant.

Si l'essai de fonctionnement mécanique à la température de l'air ambiant conformément à 6.101.2, les essais à haute et à basse températures conformément à 6.101.3 et, si applicable, l'essai d'humidité conformément à 6.101.4 sont effectués sur l'interrupteur de contournement complet, muni de son élément de commande entier ou, dans le cas de l'essai d'humidité, sur l'équipement de commande respectivement, les essais d'environnement conformément à 6.10.5 de la CEI 62271-1 sont considérés comme couverts et les essais complémentaires peuvent être omis. Lorsque les essais de l'interrupteur de contournement complet ne sont pas réalisables en pratique, les essais de composants conformément à 6.101.1.2 peuvent être acceptés.

NOTE Les essais de tenue aux séismes ne sont pas couverts. Si un essai de tenue aux séismes est exigé, il convient qu'il soit effectué après accord entre le constructeur et l'utilisateur.

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

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

6.101 Essais mécaniques et climatiques

6.101.1 Dispositions diverses pour les essais mécaniques et climatiques

6.101.1.1 Caractéristiques mécaniques

Au début des essais de type, les caractéristiques mécaniques de l'interrupteur de contournement doivent être déterminées, par exemple, en enregistrant les courbes de déplacement à vide. Ceci peut également être effectué par l'utilisation de paramètres caractéristiques, par exemple la vitesse momentanée après une certaine course, etc. Les caractéristiques mécaniques serviront de référence pour la caractérisation du comportement mécanique de l'interrupteur de contournement. De plus, les caractéristiques mécaniques doivent être utilisées pour confirmer que les différents spécimens d'essais utilisés durant les essais de type mécaniques, de contournement et d'insertion sont identiques au niveau mécanique. L'essai dans lequel cette référence est obtenue est désigné comme un essai à

vide de référence et les courbes ou autres paramètres résultant de cet essai sont désigné(e)s comme des caractéristiques mécaniques de référence. L'essai à vide de référence peut être n'importe quel essai à vide effectué faisant partie d'un essai de type particulier.

Les caractéristiques fonctionnelles suivantes doivent être enregistrées:

- caractéristiques de déplacement mécanique pendant l'ouverture et la fermeture;
- durée de fermeture;
- durée d'ouverture.

Les caractéristiques mécaniques de référence doivent être produites pendant un essai à vide réalisé avec une seule manœuvre C et une manœuvre O à la tension d'alimentation assignée des dispositifs de manœuvre et des circuits auxiliaires et de commande, à la pression fonctionnelle assignée pour la manœuvre et, pour faciliter les essais, à la pression de fonctionnement minimale pour le contournement et l'insertion.

La durée d'ouverture et la durée de fermeture enregistrées lors de l'essai de référence à vide doivent être utilisées comme durée de fermeture de référence et durée d'ouverture de référence. Les écarts acceptables par rapport à ces durées de référence correspondent aux tolérances données par le constructeur, lorsque les essais sont effectués dans les mêmes conditions que celles utilisées pour la procédure définie pour produire les caractéristiques mécaniques de référence.

L'Annexe G donne des exigences et une explication sur l'utilisation des caractéristiques mécaniques.

6.101.1.2 Essais des composants

Lorsque l'essai d'un interrupteur de contournement complet n'est pas réalisable en pratique, des essais de composants peuvent être acceptés comme essais de type. Le constructeur doit déterminer les composants aptes aux essais.

Les composants sont des sous-ensembles fonctionnels séparés qui peuvent être manœuvrés indépendamment de l'interrupteur de contournement complet (par exemple pôle, élément de contournement, mécanisme de manœuvre).

Lors des essais de composants, le constructeur doit apporter la preuve que les contraintes mécanique et climatique exercées sur le composant pendant les essais ne sont pas inférieures à celles que subit le même composant lors de l'essai de l'interrupteur de contournement complet. Les essais de composants doivent couvrir les différents types de composants de l'interrupteur de contournement complet, à condition que l'essai en question soit applicable aux dits composants. Les conditions des essais de type de composants doivent être les mêmes que celles qui pourraient être utilisées pour l'interrupteur de contournement complet.

Les pièces des équipements auxiliaires et des équipements de commande, fabriquées en conformité avec des normes particulières, doivent être conformes à celles-ci. Le bon fonctionnement de telles pièces doit être vérifié et en liaison avec le bon fonctionnement des autres pièces de l'interrupteur de contournement.

6.101.1.3 Caractéristiques et réglages de l'interrupteur de contournement à enregistrer avant et après les essais

Avant et après les essais, les caractéristiques et réglages de fonctionnement suivants doivent être enregistrés et évalués:

- a) la durée de fermeture;
- b) la durée d'ouverture;

- c) l'intervalle de temps entre les unités d'un pôle;
- d) l'intervalle de temps entre les pôles (pour un essai multipolaire);
- e) la durée de recharge du dispositif de manœuvre;
- f) la consommation du circuit de commande;
- g) la consommation des dispositifs de déclenchement, enregistrement possible du courant des déclencheurs;
- h) la durée de l'impulsion de commande d'ouverture et de fermeture;
- i) l'étanchéité, le cas échéant;
- j) les densités ou pressions des gaz, le cas échéant;
- k) la résistance du circuit principal;
- l) le graphique temps/déplacement;
- m) les autres caractéristiques ou réglages importants tels qu'ils sont spécifiés par le constructeur.

Les caractéristiques de fonctionnement ci-dessus doivent être enregistrées

- à la tension d'alimentation assignée et à la pression assignée de remplissage pour la manœuvre,
- à la tension d'alimentation maximale et à la pression maximale de remplissage pour la manœuvre,
- à la tension d'alimentation maximale et à la pression fonctionnelle minimale pour la manœuvre,
- à la tension d'alimentation minimale et à la pression minimale fonctionnelle pour la manœuvre,
- à la tension d'alimentation minimale et à la pression maximale de remplissage pour la manœuvre.

6.101.1.4 État de l'interrupteur de contournement pendant et après les essais

Pendant et après les essais, l'interrupteur de contournement doit se trouver dans un état qui lui permet de fonctionner normalement, de porter son courant assigné en service continu, de contourner son courant assigné de contournement et d'insérer son courant d'insertion assigné ainsi que de tenir les valeurs de tension conformément à ses niveaux d'isolation assignés.

En général, ces exigences sont satisfaites si

- pendant les essais, l'interrupteur de contournement fonctionne sur commande et ne fonctionne pas sans commande;
- après les essais, les caractéristiques mesurées selon 6.101.1.3 se situent dans les tolérances données par le constructeur;
- après les essais, aucune pièce, y compris les contacts, ne montre d'usure excessive;
- après les essais, les contacts plaqués sont tels qu'une couche du matériau de placage reste sur la zone de contact. Si ce n'est pas le cas, les contacts doivent être considérés comme nus et les exigences d'essai ne sont remplies que si l'échauffement des contacts pendant l'essai d'échauffement (selon 6.5) ne dépasse pas la valeur admise pour les contacts nus;
- pendant et après les essais, une distorsion quelconque des parties mécaniques n'affecte pas négativement le fonctionnement de l'interrupteur de contournement ou n'empêche pas le montage correct des pièces de remplacement;
- après les essais, les propriétés isolantes de l'interrupteur de contournement en position ouverte sont pour l'essentiel dans la même condition qu'avant les essais. Un contrôle visuel de l'interrupteur de contournement après les essais est en général suffisant pour vérifier les propriétés isolantes. Pour les interrupteurs de contournement équipés

d'éléments de contournement scellés à vie, l'essai de tension comme vérification d'état suivant 6.2.11 peut être nécessaire.

6.101.1.5 État des équipements auxiliaires et de commande pendant et après les essais

Pendant et après les essais, les conditions suivantes pour les équipements auxiliaires et de commande doivent être respectées:

- pendant les essais, des précautions doivent être prises pour empêcher tout échauffement excessif;
- pendant les essais, un jeu de contacts (contacts auxiliaires à fermeture et contacts auxiliaires à ouverture) doit être utilisé pour commuter le courant des circuits à commander (voir 5.4);
- pendant et après les essais, les équipements auxiliaires et de commande doivent remplir leurs fonctions;
- pendant et après les essais, la capacité des circuits auxiliaires, des interrupteurs auxiliaires et des équipements de commande ne doit pas être diminuée. En cas de doute, les essais selon 6.2.10 de la CEI 62271-1 doivent être effectués;
- pendant et après les essais, la résistance de contact des interrupteurs auxiliaires ne doit pas être affectée négativement. L'échauffement lors du transit du courant assigné ne doit pas dépasser les valeurs spécifiées (voir Tableau 3 de la CEI 62271-1).

6.101.2 Essai de fonctionnement mécanique à la température de l'air ambiant

6.101.2.1 Généralités

L'essai de fonctionnement mécanique doit être effectué à la température de l'air ambiant à l'emplacement d'essai. Il faut enregistrer cette température de l'air ambiant dans le rapport d'essai. Les équipements auxiliaires formant partie intégrante des dispositifs de manœuvre doivent être inclus.

L'essai de fonctionnement mécanique doit comporter 2 000 séquences de manœuvres.

Pendant l'essai, la lubrification est autorisée conformément aux instructions du constructeur, mais aucun réglage mécanique ni maintenance d'aucune sorte n'est permis.

NOTE Une conception d'interrupteur de contournement peut être munie de plusieurs variantes d'équipements auxiliaires (déclencheurs shunt et moteurs) afin de satisfaire aux diverses tensions et fréquences de commande assignées indiquées en 4.8 et 4.9. Il n'est pas nécessaire que ces variantes soient soumises aux essais si elles sont de conception similaire et si les caractéristiques mécaniques à vide résultantes se situent dans la tolérance donnée en 6.101.1.1.

6.101.2.2 État de l'interrupteur de contournement avant l'essai

L'interrupteur de contournement destiné aux essais doit être monté sur son propre support et son mécanisme de commande doit être manœuvré de la façon indiquée. Il doit être soumis aux essais selon son type de la façon suivante.

Un interrupteur de contournement tripolaire manœuvré par un seul dispositif de manœuvre et/ou dont tous les pôles sont montés sur un châssis commun doit être soumis aux essais comme une unité complète.

Les essais doivent être effectués à la pression assignée de remplissage pour le contournement et l'insertion conformément à 6.101.1.3, point j).

Un interrupteur de contournement tripolaire dans lequel chaque pôle ou même chaque colonne est manœuvré par un dispositif séparé doit, de préférence, être soumis aux essais

comme un interrupteur de contournement tripolaire complet. Toutefois, pour des raisons de commodité ou de limitation de l'emplacement d'essai, il est possible d'effectuer les essais sur un seul pôle à condition que ce pôle soit, pour l'ensemble des essais, équivalent à l'interrupteur de contournement tripolaire complet ou tout au moins qu'il ne soit pas dans une condition plus favorable que l'interrupteur de contournement, en ce qui concerne par exemple:

- les caractéristiques de déplacement mécanique de référence;
- la puissance et la robustesse du mécanisme de fermeture et d'ouverture;
- la rigidité de la structure.

6.101.2.3 Description de l'essai sur les interrupteurs de contournement de classe M1

L'interrupteur de contournement doit être soumis aux essais conformément au Tableau 4.

Tableau 4 – Nombre de séquences de manœuvres

Séquence de manœuvres	Tension d'alimentation et pression de service	Nombre de séquences de manœuvres
$O - t_a - C - t_a$	Minimale	500
	Assignée	500
	Maximale	500
$C - t - OC - t_a - O - t_a$	Assignée	250
O = ouverture; C = fermeture; OC = manœuvre d'ouverture immédiatement suivie (c'est-à-dire sans temporisation délibérée) d'une manœuvre de fermeture; t_a = durée entre deux manœuvres qui est nécessaire pour rétablir les conditions initiales et/ou empêcher un échauffement excessif des pièces de l'interrupteur de contournement (cette durée peut être différente selon le type de manœuvre); t = 0,3 s pour les interrupteurs de contournement prévus pour fonctionner en réouverture automatique rapide, sauf spécification contraire.		

6.101.2.4 Essais d'endurance mécanique accrue sur les interrupteurs de contournement de classe M2 prévus pour des exigences spéciales de service (batteries de condensateurs série à segments multiples)

Pour des exigences de service particulières dans le cas des interrupteurs de contournement fréquemment actionnés (par exemple dans les batteries de condensateurs série à segments multiples), des essais d'endurance mécanique accrue peuvent être effectués, comme suit.

Les essais doivent être effectués selon 6.101.1, 6.101.2.1, 6.101.2.2 et 6.101.2.3 avec le complément suivant:

- les essais doivent consister en 10 000 séquences de manœuvres comprenant cinq fois la série d'essais spécifiée dans le Tableau 4;
- entre les séries d'essais spécifiés, certaines interventions de maintenance, lubrification et réglage mécanique par exemple, sont autorisées et elles doivent être effectuées conformément aux instructions du constructeur. Il n'est pas permis de changer les contacts;
- le programme de maintenance pendant les essais doit être défini par le constructeur avant les essais et consigné dans le procès-verbal d'essai.

6.101.2.5 Critères d'acceptation pour les essais de manœuvre mécanique

Les critères donnés ci-après sont applicables aux essais de manœuvre mécanique des interrupteurs de contournement de classe M1 et M2.

a) Avant et après tout le programme d'essai, les manœuvres suivantes doivent être effectuées:

- cinq manœuvres d'ouverture-fermeture à la tension d'alimentation assignée des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de commande et à la pression de manœuvre assignée;
- cinq manœuvres d'ouverture-fermeture à la tension d'alimentation minimale des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de commande et à la pression de manœuvre minimale;
- cinq manœuvres d'ouverture-fermeture à la tension d'alimentation maximale des dispositifs de fermeture et d'ouverture et des circuits auxiliaires et de commande et à la pression de manœuvre maximale.

Pendant ces cycles de manœuvres, les caractéristiques de fonctionnement (voir 6.101.1.3) doivent être consignées et évaluées. Il n'est pas nécessaire de publier tous les oscillogrammes enregistrés. Cependant pour chaque condition d'essai donnée ci-dessus, au moins un oscillogramme doit être inclus dans le rapport d'essai.

En outre, les vérifications et mesures suivantes doivent être effectuées (voir 10.2.102):

- mesures des pressions caractéristiques du fluide d'opération et des consommations pendant les manœuvres, le cas échéant;
- vérification de la séquence de manœuvre assignée;
- contrôle de certaines manœuvres spécifiques, le cas échéant.

La variation entre les valeurs moyennes de chaque paramètre mesuré avant et après les essais d'endurance mécanique accrue doit se situer dans les tolérances données par le fabricant.

b) Après chaque série de 2 000 séquences de manœuvres, il faut enregistrer les caractéristiques de fonctionnement a), b), c), d) et l) de 6.101.1.3.

c) Après la totalité du programme d'essai, l'état de l'interrupteur de contournement doit être conforme à 6.101.1.4.

6.101.3 Essais à haute et à basse températures

6.101.3.1 Généralités

Il n'est pas nécessaire d'exécuter les deux essais successivement et l'ordre dans lequel ils sont effectués est arbitraire. Aucun essai à basse température n'est nécessaire pour les interrupteurs de contournement prévus pour l'extérieur de catégorie –10 °C.

Pour les interrupteurs de contournement sous enveloppe unique ou les interrupteurs de contournement sous enveloppes multiples à dispositif de manœuvre commun, les essais doivent être effectués en tripolaire. Pour les interrupteurs de contournement sous enveloppes multiples à pôles indépendants, il est permis d'effectuer l'essai d'un pôle complet.

Du fait des limitations des installations d'essai, les interrupteurs de contournement sous enveloppes multiples peuvent être soumis aux essais suivant une ou plusieurs des variantes suivantes, à condition que l'interrupteur de contournement, dans sa disposition pour les essais, ne soit pas placé dans des conditions plus favorables que les conditions normales pour le fonctionnement mécanique (voir 6.101.2.2):

- a) longueur réduite d'isolement par rapport à la terre;
- b) distance réduite entre pôles;
- c) nombre réduit de modules.

Si des sources de chaleur sont exigées, elles doivent être en service.

Les alimentations en liquides ou en gaz nécessaires pour la manœuvre de l'interrupteur de contournement doivent être à la température de l'air ambiant à moins que la conception de l'interrupteur de contournement n'exige une source de chaleur pour ces alimentations.

Aucune opération de maintenance, de remplacement de pièces, de lubrification ou de réglage de l'interrupteur de contournement n'est autorisée pendant les essais.

NOTE 1 Afin de déterminer les caractéristiques de température du matériel, le vieillissement, etc., des essais de plus longue durée que ceux spécifiés dans les paragraphes suivants peuvent être nécessaires.

En variante des méthodes données dans cette norme, un constructeur peut établir la conformité aux conditions de fonctionnement pour une gamme existante d'interrupteurs de contournement en fournissant une documentation sur l'expérience satisfaisante de l'interrupteur de contournement sur le terrain, au moins en un lieu où les températures de l'air ambiant sont fréquemment égales ou supérieures à la température maximale de l'air ambiant spécifiée de 40 °C et au moins en un endroit avec une expérience satisfaisante sur le terrain avec une température ambiante minimale spécifiée en fonction de la classe de l'interrupteur de contournement (voir l'Article 2 de la CEI 62271-1).

L'interrupteur de contournement a réussi l'essai si les conditions mentionnées en 6.101.1.4 et 6.101.1.5 sont remplies. De plus, les conditions de 6.101.3.3 et 6.101.3.4 doivent être satisfaites et les taux de fuite enregistrés ne doivent pas dépasser les limites données au Tableau 13 de la CEI 62271-1. Dans le rapport d'essai, les conditions d'essais et l'état de l'interrupteur de contournement avant, pendant et après l'essai doivent être indiqués. Les grandeurs enregistrées doivent être présentées de façon appropriée et les oscillogrammes relevés doivent être indiqués. Afin de réduire le nombre d'oscillogrammes dans le rapport d'essai, il est permis de présenter un seul oscillogramme représentatif de chaque type correspondant de manœuvre dans chaque condition d'essai spécifiée.

Les interrupteurs de contournement à vide sont exclus des essais de vérification d'étanchéité au cours des essais à haute et à basse températures. L'intégrité du vide sera vérifiée par un essai de tension à fréquence industrielle (ou équivalent) après les essais à haute et à basse températures. Cependant, si l'interrupteur de contournement à vide est utilisé dans une enveloppe remplie de gaz isolant, par exemple du SF₆, les essais de vérification d'étanchéité pendant les essais à haute et à basse température doivent être réalisés sur cette enveloppe.

NOTE 2 Une conception d'interrupteur de contournement peut être munie de plusieurs variantes d'équipements auxiliaires (déclencheurs shunt et moteurs) afin de satisfaire aux diverses tensions et fréquences de commande assignées indiquées en 4.8 et 4.9. Il n'est pas nécessaire que ces variantes soient soumises aux essais si elles sont de conception similaire et si les caractéristiques mécaniques à vide résultantes se situent dans la tolérance donnée en 6.101.1.1.

6.101.3.2 Mesurage de la température de l'air ambiant

La température de l'air ambiant de l'environnement proche d'essai doit être mesurée à mi-hauteur de l'interrupteur de contournement et à une distance de 1 m de celui-ci.

L'écart de température maximal sur la hauteur de l'interrupteur de contournement ne doit pas excéder 5 K.

6.101.3.3 Essai à basse température

Le schéma représentant les séquences d'essais et l'indication des points d'application des essais spécifiés sont donnés dans la Figure 4a.

Si l'essai à basse température est effectué immédiatement après l'essai à haute température, l'essai à basse température peut commencer après la fin du point u) de l'essai à haute température, en omettant les points a) et b) suivants.

- a) L'interrupteur de contournement en essai est réglé conformément aux instructions du constructeur.
- b) Les caractéristiques et les réglages de l'interrupteur de contournement doivent être consignés selon 6.101.1.3 et à une température ambiante de $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ (T_A). L'essai d'étanchéité (le cas échéant) doit être effectué selon 6.8.
- c) Avec l'interrupteur de contournement en position ouverte, la température de l'air doit être abaissée à la température ambiante minimale appropriée (T_L), selon la classe de l'interrupteur de contournement comme indiquée en 2.1.1, 2.1.2 et 2.2.3 de la CEI 62271-1. L'interrupteur de contournement doit être maintenu en position ouverte pendant 24 h après stabilisation de la température ambiante à T_L .
- d) Pendant cette période de 24 h où l'interrupteur de contournement est en position ouverte à la température T_L , un essai d'étanchéité doit être effectué (le cas échéant). Une augmentation du taux de fuite est acceptable, à condition qu'il revienne à sa valeur initiale quand l'interrupteur de contournement est ramené à la température ambiante T_A et qu'il est thermiquement stable. L'augmentation temporaire du taux de fuite ne doit pas dépasser le taux de fuite temporaire admis du Tableau 13 de la CEI 62271-1.

NOTE 1 Un essai d'étanchéité est applicable si des gaz sont utilisés pour la manœuvre, le contournement et l'insertion et/ou l'isolement. Dans le cas d'un interrupteur de contournement à vide, aucun essai d'étanchéité n'est exigé. Cependant, si l'interrupteur de contournement à vide est utilisé dans une enveloppe remplie de gaz isolant, par exemple du SF_6 , les essais de vérification d'étanchéité doivent être réalisés sur cette enveloppe.

- e) Après 24 h à la température T_L , l'interrupteur de contournement doit être fermé, puis de nouveau ouvert aux valeurs assignées de la tension d'alimentation et de la pression de fonctionnement. Les durées de fermeture et d'ouverture doivent être enregistrées afin de déterminer les caractéristiques de fonctionnement à basse température. Si cela est possible, il faut enregistrer la vitesse des contacts.
- f) Le comportement à basse température de l'interrupteur de contournement et de ses systèmes d'alarme et de verrouillage doit être vérifié en interrompant l'alimentation de tous les dispositifs de chauffage, y compris les éléments de chauffage pour l'anti-condensation, pendant une durée t_x . Pendant cette période, le déclenchement d'une alarme est acceptable mais pas celui du verrouillage. A la fin de cette période t_x , un ordre de fermeture doit être donné aux valeurs assignées de la tension d'alimentation et de la pression de manœuvre. L'interrupteur de contournement doit alors se fermer. Le temps de fermeture doit être enregistré (et les caractéristiques du déplacement mécanique pendant la fermeture mesurées si cela est possible) afin d'évaluer la capacité de contournement.

Le constructeur doit indiquer la valeur de t_x (pas moins de 2 h) pendant lequel l'interrupteur de contournement peut encore fonctionner malgré l'absence de chauffage. En l'absence d'une telle déclaration, la valeur préférentielle doit être de 2 h.

NOTE 2 La mesure des caractéristiques mécaniques est réalisable si un emplacement est accessible pour le capteur de déplacement à utiliser.

- g) L'interrupteur de contournement doit être laissé en position de fermeture pendant 24 h.
- h) Pendant cette période de 24 h où l'interrupteur de contournement est en position fermée à la température T_L , un essai d'étanchéité doit être effectué (le cas échéant). Une augmentation du taux de fuite est acceptable, à condition qu'il revienne à sa valeur initiale quand l'interrupteur de contournement est ramené à la température ambiante T_A et qu'il est thermiquement stable. L'augmentation temporaire du taux de fuite ne doit pas dépasser le taux de fuite temporaire admis du Tableau 13 de la CEI 62271-1.
- i) À l'issue de la période de 24 h, 50 manœuvres d'ouverture et 50 manœuvres de fermeture doivent être effectuées aux valeurs assignées de la tension d'alimentation et de la pression de fonctionnement, l'interrupteur de contournement étant maintenu à la température T_L . Un intervalle d'au moins 3 min doit être observé pour chaque cycle ou séquence. Les premières manœuvres d'ouverture et de fermeture sont enregistrées afin de déterminer les caractéristiques de fonctionnement à basse température. Si cela est possible, il faut enregistrer la vitesse des contacts. Après la première manœuvre d'ouverture (O) et la première manœuvre de fermeture (C), trois cycles de manœuvres OC (sans temporisation délibérée) doivent être effectués. Les manœuvres supplémentaires

doivent être effectuées par des séquences de manœuvres $O - t_a - C - t_a$ (t_a est défini dans le Tableau 4).

- j) Après réalisation des 50 manœuvres d'ouverture et des 50 manœuvres de fermeture, la température de l'air doit être augmentée à la température de l'air ambiant T_A avec une vitesse de variation d'environ 10 K par heure.

Pendant la période de variation de température, l'interrupteur de contournement doit être soumis à des séquences de manœuvres alternées $O - t_a - C - t_a - O$ et $C - t_a - O - t_a - C$ aux valeurs assignées de la tension d'alimentation et de la pression de fonctionnement. Les séquences de manœuvres alternées doivent être effectuées à 30 min d'intervalle afin que l'interrupteur de contournement se trouve dans ses positions d'ouverture et de fermeture pendant ces périodes de 30 min entre les séquences de manœuvres.

- k) Après stabilisation thermique de l'interrupteur de contournement à la température de l'air ambiant T_A , il faut de nouveau vérifier les réglages de l'interrupteur de contournement, les caractéristiques de fonctionnement et d'étanchéité comme aux points a) et b), afin de les comparer avec les caractéristiques initiales.

La fuite cumulée pendant la séquence complète de l'essai à basse température depuis le point b) jusqu'au point j) ne doit pas être telle que la pression de blocage soit atteinte (atteindre la pression d'alarme est autorisé).

6.101.3.4 Essai à haute température

Le schéma représentant la séquence d'essais et l'indication des points d'application des essais spécifiés sont donnés dans la Figure 4b.

Si l'essai à haute température est effectué immédiatement après l'essai à basse température, l'essai à haute température peut commencer après la fin du point j) de l'essai à basse température, en omettant les points l) et m) ci-dessous.

- l) L'interrupteur de contournement en essai est réglé conformément aux instructions du constructeur.
- m) Les caractéristiques et les réglages de l'interrupteur de contournement doivent être consignés selon 6.101.1.3 et à une température ambiante de $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ (T_A). L'essai d'étanchéité (le cas échéant) doit être effectué selon 6.8.
- n) L'interrupteur de contournement étant en position d'ouverture, la température de l'air doit être augmentée à la valeur appropriée de la température d'air ambiant maximale (T_H), correspondant à la limite supérieure de la température d'air ambiant donnée dans 2.1.1, 2.1.2 et 2.2.3 de la CEI 62271-1. L'interrupteur de contournement doit être maintenu en position ouverte pendant 24 h après stabilisation de la température ambiante à T_H .

NOTE 1 L'influence du rayonnement solaire n'est pas prise en considération.

- o) Pendant cette période de 24 h où l'interrupteur de contournement est en position ouverte à la température T_H , un essai d'étanchéité doit être effectué (le cas échéant). Une augmentation du taux de fuite est acceptable, à condition qu'il revienne à sa valeur initiale quand l'interrupteur de contournement est ramené à la température ambiante T_A et qu'il est thermiquement stable. L'augmentation temporaire du taux de fuite ne doit pas dépasser le taux de fuite temporaire admis du Tableau 13 de la CEI 62271-1.

NOTE 2 Un essai d'étanchéité est applicable si des gaz sont utilisés pour la manœuvre, le contournement et l'insertion et/ou l'isolement. Dans le cas d'un interrupteur de contournement à vide, aucun essai d'étanchéité n'est exigé. Cependant, si l'interrupteur de contournement à vide est utilisé dans une enveloppe remplie de gaz isolant, par exemple du SF_6 , les essais de vérification d'étanchéité sont à réaliser sur cette enveloppe.

- p) Après avoir été soumis pendant 24 h à la température T_H , l'interrupteur de contournement doit être fermé, puis de nouveau ouvert aux valeurs assignées de la tension d'alimentation et de la pression de fonctionnement. Les durées de fermeture et d'ouverture doivent être enregistrées afin de déterminer les caractéristiques de fonctionnement à haute température. Si cela est possible, il faut enregistrer la vitesse des contacts.

NOTE 3 La mesure des caractéristiques mécaniques est réalisable si un emplacement est accessible pour le capteur de déplacement à utiliser.

- q) L'interrupteur de contournement doit être fermé et laissé en position de fermeture pendant 24 h à la température T_H .
- r) Pendant cette période de 24 h où l'interrupteur de contournement est en position de fermeture à la température T_H , un essai d'étanchéité doit être effectué (le cas échéant). Une augmentation du taux de fuite est acceptable, à condition qu'il revienne à sa valeur initiale quand l'interrupteur de contournement est ramené à la température ambiante T_A et qu'il est thermiquement stable. L'augmentation temporaire du taux de fuite ne doit pas dépasser le taux de fuite temporaire admis du Tableau 13 de la CEI 62271-1.
- s) À l'issue de la période de 24 h, 50 manœuvres d'ouverture et 50 manœuvres de fermeture doivent être effectuées aux valeurs assignées de la tension d'alimentation et de la pression de fonctionnement, l'interrupteur de contournement étant maintenu à la température T_H . Un intervalle d'au moins 3 min doit être observé pour chaque cycle ou séquence. Les premières manœuvres d'ouverture et de fermeture sont enregistrées afin de déterminer les caractéristiques de fonctionnement à haute température. Si cela est possible, il faut enregistrer la vitesse des contacts.

Après la première manœuvre d'ouverture (O) et la première manœuvre de fermeture (C), trois cycles de manœuvres OC (sans temporisation délibérée) doivent être effectués. Les manœuvres supplémentaires doivent être effectuées par des séquences de manœuvres $O - t_a - C - t_a$ (t_a est défini dans le Tableau 4).

- t) Après réalisation des 50 manœuvres d'ouverture et des 50 manœuvres de fermeture, la température de l'air doit être ramenée à la température de l'air ambiant T_A , avec une vitesse de variation d'environ 10 K/h.

Pendant la période de variation de température, l'interrupteur de contournement doit être soumis à des séquences de manœuvres alternées $O - t_a - C - t_a - O$ et $C - t_a - O - t_a - C$ aux valeurs assignées de la tension d'alimentation et de la pression de fonctionnement. Les séquences de manœuvres alternées doivent être effectuées à 30 min d'intervalle afin que l'interrupteur de contournement se trouve dans ses positions de fermeture et d'ouverture pendant ces périodes de 30 min entre les séquences de manœuvres.

- u) Après stabilisation thermique de l'interrupteur de contournement à la température de l'air ambiant T_A , il faut de nouveau vérifier les réglages de l'interrupteur de contournement, les caractéristiques de fonctionnement et d'étanchéité comme aux points l) et m), afin de les comparer avec les caractéristiques initiales.

La fuite cumulée pendant la séquence complète de l'essai à haute température depuis le point l) jusqu'au point u) ne doit pas être telle que la pression de blocage soit atteinte (atteindre la pression d'alarme est autorisé).

6.101.4 Essai à l'humidité

L'essai à l'humidité ne s'applique pas aux interrupteurs de contournement.

6.101.5 Essai pour vérifier le fonctionnement dans des conditions sévères de formation de glace

L'essai dans des conditions sévères de formation de glace est applicable seulement aux interrupteurs de contournement ayant des parties mobiles externes et pour lesquels il a été spécifié une classe d'épaisseur de glace de 10 mm ou 20 mm. L'essai doit être effectué sous les conditions décrites dans la CEI 62271-102.

6.101.6 Essai avec efforts statiques sur les bornes

6.101.6.1 Généralités

Il n'est pas nécessaire d'effectuer des essais si le constructeur peut prouver par des calculs que l'interrupteur de contournement peut supporter les contraintes spécifiées.

L'essai avec efforts statiques sur les bornes est effectué pour démontrer que l'interrupteur de contournement fonctionne correctement quand des contraintes résultant de la glace, du vent et du raccordement des conducteurs lui sont appliquées.

La couche de glace et la pression de vent sur l'interrupteur de contournement doivent être conformes aux indications de 2.1.2 de la CEI 62271-1.

Quelques exemples d'efforts dus à des conducteurs flexibles et tubulaires raccordés (ne comprenant pas les efforts dus au vent ou à la glace ou les efforts dynamiques sur l'interrupteur de contournement lui-même) sont donnés à titre de guide dans le Tableau 5.

L'effort de traction dû aux conducteurs raccordés est supposé s'appliquer à l'extrémité de la borne de l'interrupteur de contournement.

Les efforts F_{sr1} , F_{sr2} et F_{sr3} et F_{sr4} (voir Figure 5) résultant respectivement des actions simultanées de la glace, du vent et des conducteurs raccordés sont définis comme efforts statiques assignés sur les bornes.

6.101.6.2 Essais

Il convient que les essais soient effectués à la température de l'air ambiant du local d'essai.

Les essais doivent être réalisés sur au moins un pôle complet de l'interrupteur de contournement. Si le constructeur peut prouver qu'il n'y a pas d'interaction des forces entre les différentes colonnes d'un pôle, l'essai d'une seule colonne est suffisant. Pour les interrupteurs de contournement qui sont symétriques par rapport à l'axe vertical du centre du pôle, il suffit de soumettre une seule borne à l'essai d'effort statique assigné. Pour les interrupteurs de contournement qui ne sont pas symétriques, chaque borne doit être soumise aux essais.

Deux méthodes d'essais sont disponibles.

a) Les essais doivent être effectués avec les efforts F_{sr1} , F_{sr2} , F_{sr3} et F_{sr4} résultant des 3 composantes: verticale, longitudinale et transversale (tel que défini à la Figure 5). Les essais suivants doivent être effectués:

- Essai 1 avec: $F_{sr1} = F_{th A} + F_{th B1} + F_{tv C2} + F_{wh}$
- Essai 2 avec: $F_{sr2} = F_{th A} + F_{th B1} + F_{tv C1} + F_{wh}$
- Essai 3 avec: $F_{sr3} = F_{th A} + F_{th B2} + F_{tv C2} + F_{wh}$
- Essai 4 avec: $F_{sr4} = F_{th A} + F_{th B2} + F_{tv C1} + F_{wh}$

Pour faciliter les essais, l'ordre des essais individuels est arbitraire. Si la structure de l'interrupteur de contournement est symétrique par rapport à l'axe longitudinal de ses interrupteurs, soit les essais 2 et 4, soit les essais 1 et 3, peuvent être omis.

b) En variante, les essais peuvent être réalisés séparément, en appliquant les forces subséquentes comme suit:

- avec un effort horizontal, F_{shA} , appliqué dans l'axe longitudinal des bornes (directions A_1 et A_2 de la Figure 5);
- avec un effort horizontal, F_{shB} , appliqué successivement à 90° de l'axe longitudinal des bornes (directions B_1 et B_2 de la Figure 5);
- avec un effort vertical, F_{sv} , appliqué successivement dans deux directions (directions C_1 et C_2 de la Figure 5).

Dans le cas d'un interrupteur de contournement tripolaire avec un châssis de base commun, il convient de soumettre aux essais le pôle central.

Pour éviter l'application d'un effort spécial représentant l'effort du vent qui s'appliquerait au centre de l'interrupteur de contournement, cet effort de vent peut être appliqué à la borne (voir Figure 5) et réduit en amplitude proportionnellement à l'augmentation du bras de levier (il convient que le moment de flexion à la partie la plus basse de l'interrupteur de contournement soit le même).

Avant et après chacun des essais individuels d'efforts sur les bornes, deux cycles de manœuvre (manœuvre OC) doivent être effectués. A cet effet, il peut être nécessaire de remplir l'interrupteur de contournement en gaz. Pour des raisons de sécurité, la pression peut être réglée sur n'importe quelle valeur appropriée.

L'essai est considéré comme satisfaisant si l'interrupteur de contournement fonctionne normalement lorsque la charge mécanique est appliquée. Cette condition est satisfaite si la course du contact, la durée d'ouverture et de fermeture après la série d'essais, ne présentent aucun changement significatif par rapport aux valeurs enregistrées avant les essais; les règles données en 6.101.1.1 et à l'Annexe G doivent être appliquées en conséquence.

NOTE Étant donné que la pression dans l'interrupteur de contournement pour les essais avec des efforts statiques sur les bornes peut s'écarter de la valeur prescrite pour l'essai spécifié en 6.101.1.1 et à l'Annexe G, une comparaison directe des paramètres mécaniques enregistrés au cours des essais avec des efforts statiques sur les bornes avec les caractéristiques mécaniques de référence n'est pas réalisable en pratique. Cependant, les règles données en 6.101.1.1 et à l'Annexe G peuvent s'appliquer de façon adaptée.

Après les essais, aucune fuite ni détérioration des joints ne doit être mise en évidence.

Tableau 5 – Exemples d'efforts statiques horizontaux et verticaux pour l'essai avec efforts statiques aux bornes

Gamme de tensions assignées par rapport à la terre U_{re} kV	Gamme de courants assignés I_r A	Effort statique horizontal F_{th}		Effort statique vertical (vers le haut ou vers le bas de l'axe vertical) F_{tv} N
		Longitudinal F_{thA} N	Transversal F_{thB} N	
52 – 72,5	800 – 1 250	500	400	500
52 – 72,5	1 600 – 2 500	750	500	750
100 – 170	1 250 – 2 000	1 000	750	750
100 – 170	2 500 – 4 000	1 250	750	1 000
245 – 362	1 600 – 4 000	1 250	1 000	1 250
420 – 800	2 000 – 4 000	1 750	1 250	1 500

6.102 Dispositions diverses pour les essais de contournement et d'insertion

Les paragraphes suivants s'appliquent à tous les essais de contournement et d'insertion.

Lorsque applicable, avant le début des essais, le fabricant doit donner les valeurs des

- conditions minimales de fonctionnement du mécanisme d'entraînement garantissant la séquence de manœuvres assignée (par exemple, la pression minimale fonctionnelle pour la manœuvre dans le cas d'un mécanisme de manœuvre hydraulique);
- conditions minimales de fonctionnement des dispositifs de coupure garantissant la séquence de manœuvres assignée (par exemple, la pression minimale fonctionnelle pour le contournement et l'insertion dans le cas d'un interrupteur de contournement au gaz).

6.102.1 Généralités

Les interrupteurs de contournement doivent être capables de contourner tous les courants jusqu'au courant assigné de contournement inclus. Les interrupteurs de contournement doivent en outre être capables d'insérer tous les courants jusqu'au courant assigné d'insertion inclus.

Cela est démontré lorsque l'interrupteur de contournement est soumis aux essais spécifiques de courant de contournement et d'insertion mentionnés dans cette norme.

Les essais de courant de contournement et de courant d'insertion sont normalement effectués en monophasé sur un pôle complet, voir aussi 6.102.4.1.

L'essai de courant de contournement est normalement effectué avec une source d'énergie unique (batterie de condensateurs préchargée) alors que l'essai de courant d'insertion peut être effectué avec plusieurs sources lorsque la totalité du courant, ou la plus grande partie de celui-ci est obtenue d'une seule source et la tension de rétablissement est uniquement ou partiellement obtenue d'une source séparée (essais synthétiques).

Pendant les essais sur un interrupteur de contournement sous enveloppe métallique, l'isolation par rapport à la terre n'est pas exposée à la totalité de la tension entre phase et terre qui se produit pendant une manœuvre de contournement ou d'insertion. Il peut s'avérer nécessaire de prouver que l'isolation par rapport à la terre est capable de tenir la pleine tension après les séquences d'essai requises. Il faut également tenir compte de l'influence des gaz d'échappement.

NOTE Lorsque l'interrupteur de contournement est composé de trois pôles dans une même enveloppe, il convient de modifier la procédure d'essai comme suggéré dans la CEI 62271-100 et la CEI 62271-101 pour la manœuvre de courant capacitif.

Si, par suite des limitations des installations d'essais, les performances générales de l'interrupteur de contournement ne peuvent pas être vérifiées comme indiqué ci-dessus, plusieurs méthodes utilisant les méthodes d'essais directs ou synthétiques peuvent être employées seules ou combinées, essais sur élément, en fonction du type d'interrupteur de contournement.

6.102.2 Nombre de spécimens d'essai

Le paragraphe 6.1.1 de la CEI 62271-1 s'applique avec le complément suivant.

Pour réaliser les essais de courant de contournement et de courant d'insertion, il faut utiliser un seul spécimen d'essai et aucune opération de maintenance n'est autorisée entre les séquences d'essai.

6.102.3 Disposition de l'interrupteur de contournement pour les essais

6.102.3.1 Généralités

L'interrupteur de contournement à soumettre aux essais doit être monté sur son propre support ou sur un support équivalent. Un interrupteur de contournement fourni comme partie intégrante d'une cellule doit être monté sur son propre support, dans la cellule complète comprenant les équipements de sectionnement et les événements faisant partie de la cellule et, lorsque cela est possible, les jeux de barres et les principales connexions.

Pour faciliter un contrôle cohérent de la manœuvre de fermeture et d'ouverture, les déclencheurs de fermeture et/ou d'ouverture peuvent être alimentés avec leur tension d'alimentation maximale sous réserve que la vitesse de contact ne soit pas affectée.

Si la vitesse de contact dépend de la tension d'alimentation, le dispositif de manœuvre doit être actionné dans les conditions spécifiées et, en particulier, si le mécanisme est à commande électrique ou à ressorts, le solénoïde de fermeture ou les déclencheurs shunt de fermeture et les déclencheurs shunt d'ouverture doivent être alimentés à leurs tensions minimales respectives garantissant une manœuvre réussie (85 % de la tension assignée en c.a., 70 % en c.c. pour le solénoïde de fermeture ou les déclencheurs shunts de fermeture, 85 % de la tension assignée pour les déclencheurs d'ouverture).

La procédure suivante s'applique lorsqu'il est nécessaire pour la manœuvre que les dispositifs à commande pneumatique ou hydraulique soient manœuvrés à la pression de fonctionnement minimale. Cette procédure se base sur le fait que les séquences d'essai de contournement et d'insertion exigent des manœuvres C et O séparées:

- a) avant les essais de contournement et de courant d'insertion, et partant de la pression minimale fonctionnelle pour la manœuvre définie en 3.7.135, toutes les pressions durant la séquence de manœuvres assignée effectuée à vide doivent être enregistrées;
- b) les valeurs enregistrées doivent être comparées avec les valeurs minimales déclarées par le fabricant pour les manœuvres séparées réussies C et O;
- c) si nécessaire, les essais doivent être réalisés à la pression pour la manœuvre ajustée à la valeur de fonctionnement minimale résultant de a) et b) ci-dessus, quelle que soit la plus basse, pour la manœuvre correspondante dans la séquence d'essais; les valeurs de pression doivent être indiquées dans le rapport d'essais.

Les dispositifs de verrouillage associés aux pressions de verrouillage doivent être rendus inopérants durant les essais s'ils interfèrent avec l'objectif de l'essai.

Il faut démontrer que l'interrupteur de contournement fonctionne correctement à vide lorsqu'il est manœuvré dans les conditions ci-dessus, tel que spécifié en 6.102.6. Si nécessaire, la pression du gaz comprimé utilisé pour le contournement, l'insertion et/ou l'isolement, s'il y a lieu, doit être ajustée à sa valeur de fonctionnement minimale telle que définie en 3.7.136.

L'interrupteur de contournement doit être soumis aux essais selon son type tel que spécifié en 6.102.3.2 et 6.102.3.3.

6.102.3.2 Type à enveloppe unique

Ne s'applique généralement pas aux interrupteurs de contournement, voir la note de 6.102.1.

6.102.3.3 Type à enveloppes multiples

Un interrupteur de contournement tripolaire constitué de trois appareils de connexions unipolaires indépendants est normalement soumis aux essais en monophasé conformément à 6.102.4.1. Le fabricant doit prouver par des essais la conformité à 5.101.

Un interrupteur de contournement tripolaire dont les appareils de connexion ne sont pas totalement indépendants doit lui aussi être soumis aux essais en monophasé. Les conditions mécaniques et électriques appliquées pendant les essais doivent cependant être équivalentes, ou sinon, dans une condition moins favorable, que celles pour l'interrupteur de contournement tripolaire complet sur la gamme d'essais du point de vue des

- caractéristiques de déplacement mécanique lors d'une manœuvre de contournement (pour la méthode d'évaluation, voir 6.102.4 et 6.102.7),
- caractéristiques de déplacement mécanique lors d'une manœuvre d'insertion (pour la méthode d'évaluation, voir 6.102.4 et 6.102.7),
- la disponibilité du fluide d'extinction,
- la puissance et la robustesse des dispositifs de fermeture et d'ouverture,
- la rigidité de la structure.

Si ces conditions ne peuvent pas être réunies, le constructeur et l'utilisateur doivent convenir d'une procédure d'essai appropriée.

6.102.4 Considérations générales concernant les méthodes d'essai

6.102.4.1 Essai monophasé d'un pôle unique d'un interrupteur de contournement tripolaire

Selon cette méthode, un pôle unique d'un interrupteur de contournement tripolaire est soumis aux essais en monophasé en lui appliquant les mêmes courants d'essai et la même tension que subirait le pôle le plus sollicité durant les essais triphasés de contournement et d'insertion par l'interrupteur de contournement tripolaire complet dans des conditions correspondantes.

Un interrupteur de contournement fonctionnant en tripolaire peut être soumis à un essai unipolaire sous réserve qu'un ensemble tripolaire soit fourni pour les essais.

6.102.4.2 Essai des éléments

Certains interrupteurs de contournement sont construits en montant en série des éléments de contournement et/ou d'insertion identiques, la répartition de la tension entre les éléments de chaque pôle étant souvent améliorée par l'utilisation d'impédances parallèles.

Ce type de construction permet de vérifier les caractéristiques de contournement et d'insertion d'un interrupteur de contournement en effectuant les essais sur un ou plusieurs éléments. Les exigences de 6.101.1.1, 6.102.3 et 6.102.4.1 s'appliquent aussi aux essais sur éléments séparés. Étant donné qu'il faut fournir au moins un pôle complet pour les essais de vérification sur un ou plusieurs éléments, les résultats des essais se rapportent seulement au type de pôle spécifique considéré.

Les situations suivantes peuvent être rencontrées.

- a) Le pôle de l'interrupteur de contournement est composé d'éléments (ou d'assemblage d'éléments) qui sont actionnés séparément et n'ont pas de liens communs en ce qui concerne le fluide extingueur de l'arc.

Dans ce cas, les essais par éléments séparés sont acceptables. Cependant, il convient que l'influence mutuelle des forces électrodynamiques du courant sur les éléments et sur l'arc à l'intérieur de ceux-ci soit considérée (voir Figure 11). Cela peut être effectué en remplaçant le deuxième élément par un conducteur de forme équivalente.

- b) Le pôle de l'interrupteur de contournement est composé d'éléments (ou d'assemblage d'éléments) qui sont actionnés séparément mais qui ont un lien commun en ce qui concerne le fluide extingueur de l'arc.

Dans ce cas, les essais par éléments séparés sont acceptables et il faut tenir compte de l'influence des forces électrodynamiques (voir aussi le point a) ci-dessus).

- c) Le pôle de l'interrupteur de contournement est composé d'éléments (ou d'assemblage d'éléments) qui ne sont pas manœuvrés séparément.

Dans ce cas, les essais par éléments séparés sont seulement acceptables pour la séquence d'essai de courant d'insertion. De plus, l'influence des forces électrodynamiques (voir aussi le point a) ci-dessus) doit être considérée.

La séquence d'essai de courant de contournement est généralement effectuée sur un pôle complet. Néanmoins, en raison des limites du laboratoire d'essai, les essais par éléments séparés peuvent également être acceptés si cela n'influence pas les caractéristiques de déplacement des contacts telles qu'elles sont indiquées en 6.101.1.1.

NOTE Il convient que la méthode de démonstration fasse l'objet d'un accord entre l'utilisateur et le fabricant.

Les caractéristiques de déplacement mécanique à vide pour les essais sur l'élément séparé et pour les essais sur le pôle complet doivent être les mêmes.

Quand on effectue des essais sur éléments séparés, il est essentiel que ceux-ci soient identiques et que la répartition statique de la tension pour le type d'essai soit connue.

6.102.4.2.1 Nature identique des éléments

Les éléments de l'interrupteur de contournement doivent être identiques dans leur forme, leurs dimensions et leurs conditions de fonctionnement; seuls les dispositifs contrôlant la répartition de tension entre les éléments peuvent différer d'un élément à l'autre. En particulier, les conditions suivantes doivent être remplies.

a) Fonctionnement des contacts

L'ouverture des contacts d'un pôle pour les essais de courant d'insertion, ou la fermeture des contacts d'un pôle pour les essais de courant de contournement, doivent être telles que l'intervalle de temps entre l'instant de l'ouverture ou de la fermeture des contacts de l'élément qui manœuvre le premier et de ceux de l'élément qui manœuvre le dernier ne soit pas supérieur à un huitième de période de la fréquence assignée. Il faut utiliser les pressions et tensions de commande assignées pour déterminer cet intervalle de temps.

b) Alimentation en fluide d'extinction

Dans le cas d'un interrupteur de contournement utilisant un fluide d'extinction provenant d'une source extérieure aux éléments l'alimentation de chaque élément doit être indépendante de l'alimentation des autres éléments et le positionnement des canalisations d'alimentation doit être tel que tous les éléments soient essentiellement alimentés ensemble et de manière identique.

6.102.4.2.2 Répartition de la tension

La tension d'essai est déterminée en analysant la répartition de tension entre les éléments du pôle.

La répartition de la tension entre les éléments d'un pôle, qui dépend de l'influence de la terre, doit être déterminée pour les conditions d'essais particulières.

Lorsque les éléments ne sont pas disposés de façon symétrique, la répartition de la tension doit être également déterminée en inversant les connexions.

La répartition de la tension est déterminée par des mesures ou par des calculs. Les valeurs utilisées dans les calculs doivent résulter de la mesure des capacités parasites de l'interrupteur de contournement. Ces calculs et mesures vérifiant les hypothèses utilisées dans les calculs incombent au constructeur.

La répartition de la tension peut être calculée ou mesurée à la fréquence industrielle uniquement.

On doit tenir compte des tolérances de fabrication des résistances et des condensateurs. Le constructeur doit indiquer la valeur de ces tolérances.

NOTE L'influence de la pollution n'est pas prise en compte dans la détermination de la répartition de la tension. Dans certains cas, la pollution peut modifier cette répartition de la tension.

6.102.4.2.3 Conditions à remplir pour les essais sur éléments séparés

Lors d'essais sur un seul élément, la tension d'essai doit être la tension de l'élément le plus sollicité du pôle complet de l'interrupteur de contournement, déterminée conformément à 6.102.4.2.2.

Lors des essais d'un groupe d'éléments, la tension apparaissant aux bornes de l'élément le plus sollicité du groupe doit être égale à celle de l'élément le plus sollicité du pôle, les deux étant déterminées conformément à 6.102.4.2.2.

6.102.4.3 Essais en plusieurs parties

Les essais en plusieurs parties ne s'appliquent pas aux interrupteurs de contournement.

6.102.5 Essais synthétiques

Les méthodes d'essais synthétiques peuvent être appliquées aux essais de courant d'insertion. Les techniques et les méthodes d'essais synthétiques proposées pour la manœuvre de courant capacitif, telles que décrites dans la CEI 62271-101, peuvent être utilisées comme référence.

6.102.6 Manœuvres à vide avant les essais

Avant d'entreprendre les essais de courant de contournement et de courant d'insertion, il faut effectuer des manœuvres à vide et séquences de manœuvres à vide (C, OC et C – t – OC) et les caractéristiques de fonctionnement détaillées de l'interrupteur de contournement doivent être enregistrées. Il faut enregistrer des détails tels que la durée de fermeture et la durée d'ouverture.

De plus, il doit être démontré que le comportement mécanique de l'interrupteur de contournement ou du spécimen en essai est conforme aux caractéristiques de déplacement mécanique de référence demandées en 6.101.1.1. Pour cet essai, les conditions fonctionnelles données en 6.101.1.1 s'appliquent.

La pression du fluide servant au contournement et à l'insertion doit être réglée à sa valeur minimale telle que définie en 3.7.136.

Dans le cas des interrupteurs de contournement à commande électrique ou par ressort, les manœuvres doivent être réalisées en alimentant le solénoïde de fermeture ou les déclencheurs shunt de fermeture à 100 % et à 85 % de la tension d'alimentation assignée du dispositif de fermeture dans le cas du courant alternatif, ou à 70 % dans le cas du courant continu, et le ou les déclencheurs shunt d'ouverture à 100 % et 85 % de la tension d'alimentation assignée.

Dans le cas des dispositifs de manœuvre à commande pneumatique ou hydraulique, les manœuvres doivent être réalisées sous les conditions suivantes:

- a) à la pression du fluide pour la manœuvre ajustée à sa valeur minimale telle que définie en 3.7.135 avec les déclencheurs shunt d'ouverture alimentés à 85 % et avec les déclencheurs shunt de fermeture alimentés à 85 % de la tension d'alimentation assignée dans le cas du courant alternatif ou à 70 % dans le cas du courant continu;
- b) à la pression du fluide pour la manœuvre ajustée à sa valeur de pression nominale telle que définie en 4.10 avec les déclencheurs shunt alimentés à la tension d'alimentation assignée.

6.102.7 Mécanismes d'entraînement différents

S'il peut être montré que l'utilisation d'un mécanisme d'entraînement alternatif (voir 3.5.126) n'affecte pas les performances de la partie commune, en particulier en ce qui concerne les caractéristiques de fermeture et d'ouverture de l'interrupteur de contournement, une répétition des essais de type des séquences d'essais de contournement et d'insertion n'est pas nécessaire.

NOTE 1 Dans ce paragraphe, il est considéré qu'une version de l'interrupteur de contournement utilisant un certain mécanisme d'entraînement est entièrement soumise aux essais de type, conformément à la présente norme; cette version est désignée par l'interrupteur de contournement entièrement soumis aux essais. Les autres versions, différant uniquement dans les mécanismes d'entraînement (voir définition en 3.5.124), sont désignées comme interrupteurs de contournement avec des mécanismes d'entraînement alternatifs.

Les essais à réaliser sont limités aux suivants.

- a) Sur chacun des interrupteurs de contournement (interrupteur de contournement entièrement soumis aux essais et interrupteurs de contournement avec des mécanismes d'entraînement alternatifs), les caractéristiques mécaniques à vide (simple O et simple C) doivent être enregistrées et comparées conformément au 6.101.1.1 (l'utilisation de caractéristiques mécaniques et les exigences qui y sont liées sont décrites à l'Annexe G).
- b) Sur chacun des interrupteurs de contournement (interrupteur de contournement entièrement soumis aux essais et les interrupteurs de contournement avec des mécanismes d'entraînement alternatifs), un essai d'établissement du courant de contournement doit être effectué. Les résultats de l'essai doivent être évalués selon la méthode décrite en a) ci-dessus.

Si les exigences a) ou b) ou les deux ne sont pas satisfaites, le nouveau mécanisme n'est pas considéré comme un mécanisme d'entraînement alternatif.

NOTE 2 Si les exigences données ci-dessus sont satisfaites, il convient que les caractéristiques mécaniques de référence de l'interrupteur de contournement entièrement soumis aux essais s'appliquent également pour les interrupteurs de contournement avec des mécanismes d'entraînement alternatifs.

6.102.8 Comportement de l'interrupteur de contournement pendant les essais

Pendant les essais de contournement et d'insertion, l'interrupteur de contournement ne doit pas

- présenter de signes de fatigue,
- nuire aux équipements adjacents du laboratoire,
- montrer un comportement qui pourrait mettre en danger un opérateur.

Pour les interrupteurs de contournement conçus pour laisser s'échapper le fluide extincteur dans l'atmosphère durant les essais de contournement et d'insertion, les exigences décrites ci-dessus sont considérées comme remplies à condition que

- pour les interrupteurs de contournement à huile, il n'y a pas d'émission extérieure de flammes et les gaz produits, ainsi que l'huile entraînée par ces gaz, doivent être canalisés hors de l'interrupteur de contournement et dirigés loin des conducteurs sous tension et des emplacements où des personnes peuvent se trouver,
- pour les autres types d'interrupteurs de contournement, tels qu'à air comprimé ou à isolation dans l'air, il y a des émissions extérieures de flammes, de gaz et/ou de particules métalliques. Si ces émissions sont appréciables, on peut demander que les essais soient effectués avec des écrans métalliques placés au voisinage des parties sous tension et séparées de ces dernières par une distance de sécurité spécifiée par le constructeur. Les écrans doivent être isolés de la terre, mais y sont reliés par un dispositif convenable permettant de déceler tout passage d'un courant de fuite significatif à la terre. Il ne doit pas avoir de courant de fuite significatif dans la structure mise à la terre de l'interrupteur de contournement ou dans les écrans si l'appareil en est muni lors des essais.

NOTE 1 S'il n'y a pas d'autres dispositifs disponibles, il convient que les parties mises à la terre, etc., soient raccordées à la terre au travers d'un fusible consistant en un fil de cuivre de 0,1 mm de diamètre et d'une longueur de 5 cm. Aucun courant de fuite significatif n'est supposé avoir eu lieu si le fil fusible est intact après les essais.

Si des défaillances surviennent sans être persistantes ou causées par un défaut de conception mais plutôt par des erreurs d'assemblage, les déficiences peuvent être corrigées et toutes les séquences d'essai doivent être répétées sur le même interrupteur de contournement. Dans ce cas, le rapport d'essai doit mentionner les essais invalides.

Pour les interrupteurs de contournement comprenant des ampoules à vide, des décharges disruptives non maintenues (NSDD, abréviation anglaise de *non-sustained disruptive discharges*) peuvent apparaître pendant la période de tension de rétablissement à la suite d'une manœuvre d'insertion. Cependant, leur apparition n'est pas un signe de dommage de l'interrupteur de contournement en essai. Par conséquent, leur nombre n'a pas de signification dans l'interprétation de la performance du dispositif en essai. Elles doivent être mentionnées dans le rapport d'essais, afin de les différencier des réamorçages.

NOTE 2 L'objectif n'est pas d'exiger l'installation de circuits de mesure particuliers afin de détecter les décharges disruptives non maintenues. Il convient uniquement de les mentionner lorsqu'elles sont vues sur un oscillogramme.

6.102.9 État de l'interrupteur de contournement après les essais

6.102.9.1 Généralités

L'interrupteur de contournement doit être examiné après l'exécution de toutes les séquences d'essai. Ses parties mécaniques et ses isolateurs doivent être pratiquement dans le même état qu'avant les séquences d'essais. Un contrôle visuel suffit en général à la vérification des propriétés d'isolation. En cas de doute, l'essai de contrôle de l'état conformément à 6.2.11 suffit à démontrer les propriétés d'isolation.

Pour les interrupteurs de contournement comportant des éléments scellés à vie, l'essai de contrôle de l'état est obligatoire sauf dans les conditions indiquées en 6.102.9.2.

6.102.9.2 État après les séquences d'essai de courant d'établissement du courant de contournement et d'insertion

Après avoir réalisé les séquences d'essai d'établissement du courant de contournement et de courant d'insertion spécifiées en 6.104 et 6.105, l'interrupteur de contournement doit être capable de fonctionner de manière satisfaisante pour l'établissement de tous courants de contournement et courant d'insertion jusqu'à ses courants assignés de contournement et d'insertion.

En outre, l'interrupteur de contournement doit être capable de conduire son courant assigné en service continu avec un échauffement ne dépassant pas l'échauffement autorisé par le Tableau 3 de la CEI 62271-1.

Pour les unités de contournement et d'insertion autres que ceux scellés à vie, un contrôle visuel est généralement suffisant pour vérifier la capacité de l'interrupteur de contournement à conduire le courant assigné en service continu et à contourner et insérer tous courants jusqu'à ses courants de contournement et d'insertion assignés.

Aucune trace de perforation, de contournement ou de cheminement ne doit être observée sur les matériaux isolants internes. Seule une usure modérée des pièces des dispositifs de contrôle d'arc exposées aux arcs est autorisée.

La dégradation des composants du circuit principal de courant ne doit pas réduire l'intégrité du circuit principal de courant normal.

Si un réamorçage se produit au cours des essais de courant d'insertion, l'essai de contrôle de l'état diélectrique conformément à 6.2.11 doit être effectué avant le contrôle visuel, à condition que la tension transitoire de rétablissement crête appliquée pendant les essais de courant d'insertion soit inférieure à la tension crête de l'essai de contrôle de l'état diélectrique spécifié. Le contrôle visuel subséquent doit ensuite démontrer que le réamorçage s'est produit uniquement entre les contacts d'arc. Aucune détérioration telle que perforation, contournement ou traces permanentes d'arc ne doit être observée sur les matériaux isolants internes. L'usure des parties des dispositifs de contrôle d'arc est permise si elle n'affecte pas l'intégrité de la capacité de contournement et d'insertion. En outre, l'examen de l'intervalle isolant entre les contacts principaux, s'ils sont différents des contacts d'arc, ne doit révéler aucune trace de réamorçage.

Si aucun réamorçage ne s'est produit pendant les essais de courant d'insertion, le contrôle visuel suffit. L'essai de contrôle de l'état diélectrique conformément à 6.2.11 n'est pas nécessaire.

Pour les interrupteurs de contournement à éléments de contournement scellés à vie, l'essai de contrôle de l'état diélectrique conformément à 6.2.11 doit être effectué, qu'un réamorçage

se soit produit ou non au cours de l'essai, à condition que la tension transitoire de crête de rétablissement appliquée pendant les essais de courant d'insertion soit inférieure à la tension de crête de l'essai de contrôle de l'état diélectrique spécifié.

6.102.9.3 Reconditionnement après une séquence d'essais

L'interrupteur de contournement ne doit pas être reconditionné pendant et entre les séquences d'essais d'établissement du courant de contournement et de courant d'insertion.

Si les règles de sécurité locales exigent la dépressurisation pour pouvoir avoir accès à la cellule d'essais, il est alors permis de diminuer la pression dans l'interrupteur de contournement à condition que le même gaz soit réutilisé lors du remplissage suivant de l'interrupteur de contournement.

NOTE Lorsqu'un nouveau remplissage est nécessaire, le gaz qui avait été vidangé ne peut être réutilisé complètement étant donné les capacités limitées de la pompe à vide. Pour de tels cas, du gaz neuf peut être utilisé comme complément de remplissage et il convient que la quantité de gaz neuf n'excède pas 10 % de la quantité totale de gaz.

6.103 Séquence des essais

La séquence d'essai d'établissement du courant de contournement et la séquence d'essai de courant d'insertion doivent être réalisées dans l'ordre suivant:

- a) la moitié des manœuvres d'établissement requises aux pressions fonctionnelles minimales pour la manœuvre et/ou le contournement, l'insertion et l'isolement;
Ces manœuvres d'établissement comprennent deux des manœuvres d'établissement au courant assigné de contournement et 10 manœuvres d'établissement au courant de décharge de la batterie de condensateurs.
- b) la moitié des manœuvres d'insertion requises aux pressions fonctionnelles minimales pour la manœuvre et/ou le contournement, l'insertion et l'isolement;
- c) la moitié des manœuvres d'établissement requises aux pressions fonctionnelles assignées pour la manœuvre et/ou le contournement, l'insertion et l'isolement;
Ces manœuvres d'établissement comprennent deux des manœuvres d'établissement au courant assigné de contournement et 10 manœuvres d'établissement au courant de décharge de la batterie de condensateurs.
- d) la moitié des manœuvres d'insertion requises aux pressions fonctionnelles assignées pour la manœuvre et/ou le contournement, l'insertion et l'isolement.

Aucune opération de maintenance n'est autorisée entre les séquences d'essais.

Si l'interrupteur de contournement possède un arrangement asymétrique des pièces de passage du courant, les connexions des bornes doivent être inversées pendant la moitié du nombre requis de manœuvres. Il convient que cette inversion soit effectuée entre les séries d'essais devant être réalisées aux pressions fonctionnelles minimales et les séries d'essais aux pressions fonctionnelles assignées (entre les séries d'essais b) et c) ci-dessus).

NOTE 1 Il est aussi acceptable de réaliser les essais dans l'ordre a), c), b), d). Cette procédure nécessite plus d'opérations de traitement du gaz et plus d'inversions des bornes. Il convient de ne pas l'effectuer sans l'accord du constructeur.

NOTE 2 Il est également acceptable de réaliser tous les essais aux pressions fonctionnelles minimales pour la manœuvre et/ou le contournement, l'insertion et l'isolement. Il convient de ne pas l'effectuer sans l'accord du constructeur.

6.104 Séquence d'essais d'établissement du courant de contournement

6.104.1 Généralités

Cette séquence d'essais est valable pour les deux fréquences assignées, c'est-à-dire pour les réseaux à 50 Hz et à 60 Hz.

6.104.2 Caractéristiques du circuit d'alimentation

Il est recommandé d'utiliser un circuit oscillant (circuit LC, voir Figures 12 et 13). Le circuit d'essais doit remplir les exigences suivantes.

- Les caractéristiques du circuit d'essais doivent être telles que la tension instantanée appliquée, juste avant la manœuvre d'établissement, soit égale à la tension de crête de limitation du dispositif de protection contre les surtensions (U_{PL}). La tension appliquée peut être une tension continue.
- Les composants du circuit oscillant (inductance série et batterie de condensateurs préchargés) doivent être choisis de manière à obtenir le courant de contournement requis (première crête, I_{BP}) à la fréquence du courant de contournement (f_{BP}).

NOTE 1 Les performances relatives à l'établissement du contournement sont couvertes lorsque le courant de crête de contournement requis est égal ou inférieur à la valeur utilisée durant la séquence d'essai. Cette règle d'équivalence n'est considérée valide que si la fréquence du courant de contournement f_{BP} est égale ou inférieure à 130 % de la valeur utilisée pendant les essais de type.

- Le taux d'amortissement du courant de contournement (courant sinusoïdal à décroissance exponentielle) peut être réglé en fonction du taux d'amortissement en service normal en insérant une résistance supplémentaire dans le circuit oscillant. Le taux d'amortissement est défini comme étant le rapport entre la deuxième crête et la première crête de même polarité du courant de contournement.

Le taux d'amortissement obtenu pendant les essais doit être indiqué dans le rapport d'essai.

Pour qu'une séquence d'essais pour une installation spécifique de condensateur série soit valide, le taux d'amortissement obtenu pendant les essais doit être égal ou supérieur au taux d'amortissement réel sur le site.

NOTE 2 Un essai effectué sans amortissement intentionnel couvre automatiquement les applications où une résistance d'amortissement est utilisée et où les conditions indiquées dans la Note 1 ci-dessus et en 4.102 sont remplies. Il est généralement impossible d'assigner des caractéristiques d'amortissement spécifiques, car celles-ci sont propres aux paramètres de chaque projet. L'Annexe D contient des exemples de caractéristiques d'un interrupteur de contournement.

NOTE 3 Le fait que le taux d'amortissement ne soit pas atteint peut être compensé par un courant d'essai d'établissement de contournement plus élevé sous réserve que l'énergie de l'arc pendant la période de préarc soit égale ou supérieure à l'énergie de préarc requise par les paramètres d'essai applicables.

6.104.3 Tension d'essai

La tension d'essai instantanée à appliquer entre les bornes de l'interrupteur de contournement avant les essais d'établissement du courant de contournement doit être la tension de crête de limitation du dispositif de protection contre les surtensions (U_{PL} ; $^{+5}_0$ %).

6.104.4 Courant d'essai

Pendant quatre manœuvres d'établissement, la première crête du courant d'essai doit être le courant assigné d'établissement du courant de contournement I_{BP} à la fréquence du courant de contournement f_{BP} . La tolérance sur le courant de contournement doit être à ($^{+5}_0$ %) du courant de contournement I_{BP} . Il convient de prendre en considération l'amortissement effectif de la composante du courant de contournement.

NOTE 1 S'il est impossible d'obtenir le courant de crête assigné de contournement à la fréquence du courant de contournement assignée en raison des limitations du laboratoire, il est alors autorisé de réaliser l'essai avec une autre fréquence du courant de contournement. Dans ces cas, il convient que la fréquence du courant de contournement f_{BP} soit le plus près possible de la valeur assignée. Les écarts par rapport aux valeurs assignées peuvent affecter la plage d'utilisation (voir 4.102).

Pendant les 20 manœuvres d'établissement restantes, la première crête du courant d'essai doit être limitée au courant de décharge de la batterie de condensateurs $I_{DÉCHARGE}$ (sans tenir compte de la composante du courant de défaut à fréquence industrielle) lorsque la batterie est préchargée à la tension de limitation du dispositif de protection contre les surtensions (U_{PL}) ($+5\%$) à la fréquence assignée du courant de contournement f_{BP} . Il convient également de tenir compte de l'amortissement effectif du courant de décharge de la batterie de condensateurs.

NOTE 2 S'il est impossible d'obtenir le courant de décharge de la batterie de condensateurs à la fréquence du courant de contournement assignée en raison des limitations du laboratoire, il est alors autorisé de réaliser l'essai avec une autre fréquence du courant de contournement. Dans ces cas, il convient que la fréquence du courant de contournement f_{BP} soit le plus près possible de la valeur assignée. Les écarts par rapport aux valeurs assignées peuvent affecter la plage d'utilisation (voir 4.102).

NOTE 3 S'il est impossible d'obtenir le courant de crête d'établissement du contournement et/ou de décharge de la batterie de condensateurs à la fréquence du courant de contournement assignée en raison des limitations du laboratoire, il est alors autorisé de réaliser l'essai avec des valeurs de courant supérieures à la tolérance indiquée ci-dessus. Il convient que ceci ne soit pas effectué sans l'accord du constructeur.

6.104.5 Nombre de manœuvres d'établissement

~~La séquence d'essais d'établissement du courant de contournement comprend quatre manœuvres d'établissement (4 C) au courant assigné d'établissement du contournement plus 20 manœuvres d'établissement au courant de décharge de la batterie de condensateurs (20 C).~~

La séquence d'essais d'établissement du courant de contournement peut être effectuée en utilisant l'une des deux alternatives données au Tableau 7.

Les conditions de l'interrupteur de contournement doivent être conformes à 6.102.3.1.

~~NOTE En variante, la séquence d'essais complète peut se limiter à 20 manœuvres d'établissement au courant de contournement (composante de courant de décharge + composante du courant de défaut à la fréquence industrielle) à la fréquence assignée de décharge du courant de contournement. Il convient de ne pas réaliser cette variante sans l'accord du constructeur.~~

Tableau 7 – Procédure d'essais pour les essais d'établissement du courant de contournement

Alternative	Nombre de manœuvres d'établissement	Courant d'essais
Alternative 1	20	I_{BP}
Alternative 2	4	I_{BP}
	20	$I_{DÉCHARGE}$

6.105 Séquence d'essai de courant d'insertion

6.105.1 Généralités

Les réallumages pendant la séquence d'essais de courant d'insertion sont autorisés mais les réamorçages ne sont pas autorisés sauf indication contraire (la probabilité supposée de réamorçage doit être faible).

NOTE 1 La probabilité de réamorçage est liée à la performance obtenue lors des séries d'essais de type.

NOTE 2 Les phénomènes qui surviennent suite à un réamorçage ou un réallumage ne sont pas représentatifs des conditions de service, étant donné que les circuits d'essais ne reproduisent pas de manière adéquate les conditions de tension et de courant apparaissant suite à de tels événements.

NOTE 3 Du fait que la quantité d'énergie emmagasinée dans la batterie de condensateurs utilisée pendant les essais est généralement nettement inférieure à l'énergie emmagasinée dans la batterie de condensateurs série de service, il est important que la probabilité de réamorçage soit faible afin de limiter les dommages possibles aux composants internes des éléments de contournement.

Plusieurs formes d'onde de tension de réinsertion transitoire peuvent être obtenues en service. Il convient de déterminer la forme d'onde de la tension de réinsertion par des études du réseau. Pour des raisons de normalisation et en vue de couvrir le plus grand nombre de situations pratiques, la présente norme recommande une forme d'onde «1-cos» dont la durée préférée pour atteindre la première crête est de 5,6 ms afin de couvrir les applications à 50 Hz et à 60 Hz avec une seule séquence d'essais. D'autres formes d'onde peuvent être requises et il convient de les spécifier clairement au constructeur au moment de la demande. La tolérance sur la durée jusqu'à la première crête de la tension transitoire de rétablissement doit être de $\pm 5\%$.

NOTE 4 Pour les interrupteurs de contournement exclusivement assignés aux réseaux de 50 Hz, la durée jusqu'à la première crête de la tension transitoire de rétablissement peut être augmentée à 6,7 ms.

La frontière qui délimite un réallumage et un réamorçage doit être fixée à la moitié de la durée jusqu'à la première crête de la tension transitoire de rétablissement.

NOTE 5 La frontière qui délimite le réallumage et le réamorçage a été fixée à la moitié de la durée jusqu'à la première crête de la tension transitoire de rétablissement afin de limiter la quantité d'énergie libérée pendant le réamorçage qui peut affecter les composants internes de l'interrupteur de contournement ainsi que d'autres équipements de la plate-forme de condensateurs série.

La branche du circuit d'essai qui délivre le courant d'essai à la fréquence industrielle doit avoir une fréquence comprise entre 49 Hz et 61 Hz.

NOTE 6 Les essais réalisés avec une source de courant dont la fréquence est comprise entre 49 Hz et 61 Hz sont considérés prouver la capacité d'insertion pour les deux fréquences de réseau, c'est-à-dire 50 Hz et 60 Hz.

6.105.2 Caractéristiques du circuit d'alimentation

Un circuit oscillant (circuit LC à double fréquence, voir Figures 14 et 15) avec une branche du circuit oscillant qui délivre le courant à la fréquence industrielle et l'autre branche du circuit qui produit la tension transitoire de rétablissement est suggéré. D'autres circuits d'essai tels que ceux proposés par la CEI 62271-101 pour les essais synthétiques de manœuvre sur courant capacitif peuvent également être utilisés. Les Figures 16, 17, 18 et 19 illustrent d'autres exemples de circuits d'essai synthétique et direct. Le circuit d'essais doit remplir les exigences suivantes.

- a) Les caractéristiques de la branche courant du circuit d'essai doivent être telles que le courant de crête instantané, juste avant la coupure, est égal à la valeur de crête du courant d'insertion assigné. Le circuit de courant doit produire une forme d'onde la plus proche possible d'un courant sinusoïdal (avec le circuit d'essai synthétique proposé, il s'agira d'un courant sinusoïdal à décroissance exponentielle). Cette condition est considérée comme remplie si le rapport entre la valeur efficace et la valeur efficace de la composante fondamentale ne dépasse pas 1,2.

De plus, le courant à interrompre ne doit pas passer par zéro plus d'une fois par demi-période de la fréquence industrielle.

- b) Sauf indication contraire, il convient que les caractéristiques de la branche tension du circuit d'essai soient telles qu'une tension transitoire de rétablissement ayant une forme d'onde «1-cos» soit produite entre les bornes de l'interrupteur de contournement. Sauf indication contraire, il convient que la durée jusqu'à la première crête de l'onde de tension soit de 5,6 ms. Il convient que le saut de tension initial qui peut apparaître au début de l'onde «1-cos» soit le plus petit possible et qu'il n'excède jamais 5 % de la crête de tension transitoire de rétablissement.

6.105.3 Tension d'essai

La crête de la tension transitoire de rétablissement à appliquer entre les bornes de l'interrupteur de contournement doit être la tension de crête de limitation du dispositif de protection contre les surtensions (U_{PL} ; $+5_0$ %).

6.105.4 Courant d'essai

Le courant d'essai doit être le courant assigné d'insertion (± 20 %).

6.105.5 Nombre de manœuvres

La séquence d'essais de courant d'insertion comprend un total de deux séquences d'essais de 24 manœuvres d'ouverture (2×24 O).

Il convient que les manœuvres d'ouverture soient réalisées de la manière suivante:

- manœuvres O pour trouver la durée d'arc minimale dans une polarité (intervalle: 6°);
- manœuvres additionnelles pour obtenir un total de 6 O à la durée d'arc minimale dans une polarité;
- manœuvres O pour trouver la durée d'arc minimale dans l'autre polarité (intervalle: 6°);
- manœuvres additionnelles pour obtenir un total de 6 O avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels pour obtenir 24 O, distribués sur les deux polarités (intervalle: 30°);
- inversion des connexions pour la deuxième série si l'arrangement des pièces de passage du courant n'est pas symétrique;
- manœuvres O pour trouver la durée d'arc minimale dans une polarité (intervalle: 6°);
- manœuvres additionnelles pour obtenir un total de 6 O à la durée d'arc minimale dans une polarité;
- manœuvres O pour trouver la durée d'arc minimale dans l'autre polarité (intervalle: 6°);
- manœuvres additionnelles pour obtenir un total de 6 O avec la durée d'arc minimale dans l'autre polarité;
- essais additionnels pour obtenir 24 O, distribués sur les deux polarités (intervalle: 30°).

NOTE 1 Il est entendu que pour être conforme à cette exigence, il convient de rechercher la durée d'arc minimale avant d'effectuer les essais requis avec la durée d'arc minimale. Ces essais sont inclus dans le total de 24 O de chaque série individuelle.

NOTE 2 Il est entendu qu'en suivant cette procédure, le nombre d'essais distribués à intervalles de 30° pour chacune des polarités peut ne pas être égal. Cela est acceptable.

La durée d'arc minimale doit être déterminée en faisant varier le moment de la séparation des contacts lors de l'ouverture par pas d'environ 6° . Par cette méthode, il peut être nécessaire d'effectuer plusieurs essais pour démontrer la durée d'arc minimale.

NOTE 3 Avec l'accord du constructeur, des tensions supérieures à la limite maximale des tensions d'alimentation des dispositifs de manœuvre peuvent être appliquées durant ces essais de façon à obtenir des durées d'ouverture plus stables de l'interrupteur de contournement.

Si une durée d'arc maximale est obtenue au lieu de la durée d'arc minimale visée, l'essai est valable et doit être inclus dans le nombre total d'essais requis. Lors d'un tel événement, les actions suivantes sont nécessaires:

- avancer le réglage l'ordre d'ouverture de 6° et répéter l'essai. Il convient de conserver le nouveau réglage pour les autres essais avec la durée d'arc minimale. Si une autre durée d'arc maximale est obtenue avec ce réglage au lieu d'une durée d'arc minimale visée, il

faut encore avancer le réglage de 6° et répéter cette procédure jusqu'à l'obtention d'une durée d'arc minimale;

- effectuer une manœuvre d'ouverture de moins pour chacune des manœuvres ci-dessus résultant en une durée d'arc maximale pour retenir le nombre total des essais.

NOTE 4 Pour des courants assignés de réinsertion relativement élevés, il se peut que deux durées d'arc minimales soient trouvées, une dans la zone de réallumage thermique (typiquement autour de 1 ms avant le zéro de courant) et une dans la zone de réallumage diélectrique (typiquement moins que 0,5 ms avant le zéro de courant). De façon à obtenir une procédure d'essai cohérente, il convient que la recherche de la durée d'arc minimale débute en un point de séparation des contacts le plus près possible du zéro de courant.

Le nombre de manœuvres avec la durée d'arc minimale indiquée ci-dessus doit être obtenu, même si le nombre total spécifié de manœuvres est dépassé.

Un réallumage suivi par une interruption à un zéro de courant ultérieur doit être considéré comme une manœuvre d'insertion avec une durée d'arc longue.

Les conditions de l'interrupteur de contournement doivent être conformes à 6.102.3.1. Si l'interrupteur de contournement possède un arrangement des pièces de passage du courant non symétrique, les connexions des bornes doivent être inversées pendant la deuxième séquence d'essais comme illustré ci-dessus.

6.106 Critères de réussite des séquences d'essais

L'interrupteur de contournement a réussi les essais si les conditions suivantes sont remplies:

- a) le comportement de l'interrupteur de contournement pendant les séquences d'essais d'établissement du courant de contournement et de courant d'insertion satisfait aux conditions données en 6.102.8;
- b) soit aucun réamorçage n'a eu lieu pendant la séquence d'essais de courant d'insertion, ou, si un seul réamorçage se produit dans l'une des deux séries, la série doit être terminée et répétée sur le même échantillon sans aucune opération de maintenance. Aucun réamorçage ne doit survenir durant les d'essais additionnels. Il ne doit se produire aucun contournement extérieur et aucun contournement phase-terre;
- c) l'état de l'interrupteur de contournement après la série d'essais correspond aux conditions données en 6.102.9.2. Si aucun réamorçage ne s'est produit pendant la séquence d'essais de courant d'insertion, le contrôle visuel suffit.

7 Essais individuels

L'Article 7 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant.

7.1 Essais diélectriques du circuit principal

Le paragraphe 7.1 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant.

Pour des interrupteurs de contournement construits par montage en série d'éléments identiques, la tension d'essai à appliquer aux bornes de chacun des éléments en position d'ouverture doit être la fraction la plus élevée de la tension de tenue totale résultant de la répartition réelle de la tension à fréquence industrielle déterminée sur l'interrupteur de contournement complètement ouvert et avec une borne mise à la terre.

En se référant à la Figure 2 de la CEI 62271-1 qui représente un schéma d'interrupteur de contournement tripolaire, la tension d'essai doit être appliquée conformément au Tableau 6 ci-dessous. Pour les interrupteurs de contournement unipolaires, les essais requis se limitent à deux essais, un avec l'interrupteur de contournement en position de fermeture et un autre avec l'interrupteur de contournement en position d'ouverture. Les niveaux d'essai requis pour les deux positions peuvent être différents.

Tableau 6 – Application de la tension lors des essais diélectriques du circuit principal

Condition d'essai N°	Interrupteur de contournement	Tension appliquée à	Terre connectée à
1	Fermé	AaCc	BbF
2	Fermé	Bb	AaCcF
3	Ouvert	ABC	abcF
NOTE Si l'isolation entre pôles est de l'air à pression atmosphérique, les conditions d'essai N° 1 et N° 2 peuvent être combinées, la tension d'essai étant appliquée entre toutes les parties du circuit principal connectées ensemble et le support.			

7.2 Essais diélectriques des circuits auxiliaires et de commande

Le paragraphe 7.2 de la CEI 62271-1 est applicable.

7.3 Mesurage de la résistance du circuit principal

Le paragraphe 7.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

7.4 Essai d'étanchéité

Le paragraphe 7.4 de la CEI 62271-1 est applicable.

7.5 Contrôles visuels et du modèle

Le paragraphe 7.5 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant.

L'interrupteur de contournement doit être contrôlé afin de vérifier sa conformité avec la spécification de la commande.

Les points suivants doivent être contrôlés, lorsque cela s'applique:

- la langue et les indications portées sur les plaques signalétiques;
- l'identification des équipements auxiliaires;
- la couleur et la qualité de la peinture et la protection contre la corrosion des surfaces métalliques;
- les valeurs des résistances et des condensateurs reliés au circuit principal.

7.101 Essais de fonctionnement mécanique

Les essais de fonctionnement mécanique doivent comprendre:

- a) à la tension maximale spécifiée d'alimentation des dispositifs de manœuvre et des circuits auxiliaires et de contrôle et à la pression maximale pour l'opération (si cela est applicable)
 - cinq manœuvres de fermeture;
 - cinq manœuvres d'ouverture.
- b) à la tension minimale spécifiée d'alimentation des dispositifs de manœuvre et des circuits auxiliaires et de contrôle et à la pression minimale pour l'opération (si cela est applicable)
 - cinq manœuvres de fermeture;
 - cinq manœuvres d'ouverture.
- c) à la tension assignée d'alimentation des dispositifs de manœuvre et des circuits auxiliaires et de contrôle et à la pression assignée pour l'opération (si cela est applicable)
 - cinq cycles de manœuvres d'ouverture-fermeture, le mécanisme de fermeture étant mis sous tension à l'ouverture des contacts principaux par l'interrupteur auxiliaire.

Les essais de fonctionnement mécanique doivent être réalisés sur l'interrupteur de contournement complet. Toutefois, si les interrupteurs de contournement sont assemblés et expédiés sous la forme d'éléments séparés, les essais individuels peuvent être réalisés sur les composants conformément à 6.101.1.2. Dans ces cas, le constructeur doit produire un programme d'essais de mise en service, pour utilisation sur site, pour confirmer la compatibilité des éléments séparés et des composants lorsqu'ils forment l'interrupteur de contournement complet. Un guide pour les essais de réception est donné en 10.2.101.

Lors de toutes les séquences de manœuvres exigées, on doit effectuer les mesures suivantes et enregistrer les manœuvres de fermeture et d'ouverture:

- le mesurage des durées de manœuvres;
- le mesurage de la consommation du fluide pendant les manœuvres, par exemple la différence de pression (si cela est applicable).

Une preuve doit être donnée à effet que le comportement mécanique est conforme à celui du spécimen utilisé pour les essais de type. Un cycle de manœuvre à vide, par exemple, comme décrit en 6.101.1.1, peut être effectué pour enregistrer les courbes de déplacement à vide à l'issue des essais individuels. Lorsque cela est fait, la courbe doit se situer dans l'enveloppe définie du tracé de référence de la caractéristique de déplacement mécanique, tel que défini en 6.101.1.1, depuis l'instant de la séparation des contacts jusqu'à la fin de leur course ou depuis le début de la course des contacts jusqu'à l'instant de leur toucher.

Lorsque les essais mécaniques individuels sont effectués sur des sous-ensembles, les caractéristiques de déplacement mécanique de référence réalisées à la fin des essais de mise en service sur site doivent être conformes, comme ci-dessus.

Si les mesures sont effectuées sur le site, le constructeur doit établir la procédure de mesure préférentielle. Si d'autres procédures sont utilisées, les résultats peuvent être différents et la comparaison avec la course instantanée des contacts peut être impossible à réaliser.

Les caractéristiques de déplacement mécanique peuvent être enregistrées directement à l'aide d'un capteur de déplacement ou d'un dispositif équivalent sur le système de contact de l'interrupteur de contournement, ou à d'autres emplacements convenables du mécanisme reliant les contacts où il y a une connexion directe, et où on peut obtenir une image représentative de la course des contacts. Les caractéristiques de déplacement mécanique doivent, de préférence, être sous forme de courbe continue, comme montré sur la Figure 7. Lorsque les mesures sont effectuées sur le site, d'autres méthodes peuvent être employées pour enregistrer des points de la course pendant une manœuvre.

Dans ces cas, le nombre de points enregistrés doit être suffisant pour pouvoir déterminer le temps et la vitesse des contacts lors de leur séparation et/ou de leur toucher, ainsi que le temps de la course totale.

Après l'achèvement des séquences de manœuvres exigées, les essais et inspections suivants doivent être exécutés (si cela est applicable):

- la vérification des raccordements;
- les contacts auxiliaires ou de commande doivent indiquer de manière satisfaisante les positions d'ouverture ou de fermeture de l'interrupteur de contournement;
- tous les équipements auxiliaires doivent fonctionner correctement aux limites des tensions d'alimentation des dispositifs de commande et des circuits auxiliaires et de commande, et/ou des pressions des fluides pour la manœuvre.

De plus, les essais et inspections suivants doivent être effectués (si cela est applicable):

- la mesure des résistances des dispositifs de chauffage (si utilisés) et des bobines de commande;

- les inspections du câblage du circuit de commande, des circuits de chauffage et des équipements auxiliaires et contrôle du nombre de contacts auxiliaires, conformément à la spécification de la commande;
- l'inspection de l'armoire de commande (systèmes électrique, mécanique, pneumatique et hydraulique);
- le temps de réarmement;
- les caractéristiques fonctionnelles de la soupape de sécurité;
- le fonctionnement des verrouillages électriques, mécaniques, pneumatiques ou hydrauliques et des dispositifs de signalisation;
- le fonctionnement du dispositif d'anti-pompage;
- les performances générales de l'équipement dans les tolérances exigées de la tension d'alimentation;
- l'inspection des bornes de mise à la terre de l'interrupteur de contournement.

8 Guide pour le choix des interrupteurs de contournement selon le service

~~Cet article ne s'applique pas aux interrupteurs de contournement.~~ Pour plus d'informations, se reporter à la CEI 60143-1, la CEI 60143-2 et aux Annexes **E et F** de la présente norme.

9 Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes

9.101 Renseignements à donner dans les appels d'offres et les commandes

En faisant un appel d'offres ou en passant une commande d'un interrupteur de contournement, le demandeur doit fournir les renseignements suivants:

- a) les caractéristiques propres au réseau, c'est-à-dire la tension nominale et la tension la plus élevée par rapport à la terre et aux bornes de l'élément de contournement, la fréquence, le nombre de phases;
- b) les conditions en service comprenant les températures minimale et maximale de l'air ambiant, l'altitude si elle est supérieure à 1 000 m et toute condition spéciale susceptible d'exister ou de se produire, par exemple l'exposition inhabituelle à la vapeur d'eau, à l'humidité, aux vapeurs chimiques, aux gaz explosifs, à une poussière excessive ou à l'air salin;
- c) les caractéristiques de l'interrupteur de contournement.

Les renseignements suivants doivent être fournis:

Type de renseignement	Référence
1) le nombre de pôles	
2) les conditions ambiantes (température, vent, glace, etc.)	2
3) la tension assignée par rapport à la terre et aux bornes des pôles	4.1
4) le niveau d'isolement assigné par rapport à la terre et aux bornes des pôles s'il existe un choix entre différents niveaux d'isolement correspondant à une tension assignée donnée, ou, s'il est différent du niveau normal, les niveaux d'isolement demandés	4.2
5) la fréquence assignée	4.3
6) le courant assigné en service continu	4.4
7) le courant de courte durée admissible assigné	4.5
8) la valeur de crête du courant admissible assigné	4.6
9) la durée du court-circuit	4.7
10) la séquence de manœuvres assignée	4.101
11) le courant assigné de contournement	4.102
12) la fréquence du courant assigné de contournement	4.102
13) le courant de décharge de la batterie de condensateurs	3.8.28
14) l'amortissement du courant de contournement	4.102
15) le courant assigné d'insertion	4.103
16) la tension de réinsertion assignée	4.104
17) la durée de fermeture maximale	4.105
18) la durée d'ouverture-fermeture maximale	4.105
19) la tension de crête maximale limite du dispositif de protection contre les surtensions	4.104
20) la durée minimale jusqu'à la première crête de tension pendant l'insertion	4.104
21) le facteur de compensation	Annexe F
22) l'amplitude de l'oscillation de puissance	Annexe F
23) les essais de type spécifiés sur demande spéciale (par exemple, pollution artificielle et perturbations radioélectriques, etc.)	4.106
24) le nombre de séquences de manœuvre mécanique (classe M1 ou M2)	
25) s'il y a lieu, tout essai au-delà des essais de type, de série et de réception	

d) les caractéristiques du mécanisme de manœuvre de l'interrupteur de contournement et de l'équipement associé, en particulier:

- 1) le nombre et le type des contacts auxiliaires de réserve;
- 2) la tension d'alimentation assignée et la fréquence d'alimentation assignée;
- 3) le nombre de déclencheurs de fermeture, si plus d'un;
- 4) le nombre de déclencheurs d'ouverture, si plus d'un.

e) les exigences relatives à l'utilisation de gaz comprimé et exigences relatives à la construction et aux essais des réservoirs de pression.

NOTE Il convient que le demandeur donne des renseignements sur toutes les conditions spéciales, non énumérées précédemment, qui pourraient avoir une influence sur la soumission ou la commande.

9.102 Renseignements à donner avec les soumissions

Lorsque le demandeur désire connaître les particularités techniques d'un interrupteur de contournement, le constructeur doit fournir les renseignements suivants (ceux qui sont applicables) avec les notices descriptives et les plans:

a) les valeurs assignées et caractéristiques:

Type d'information	Référence
1) le nombre de pôles	
2) la classe: conditions ambiantes (température, vent, glace, etc.)	2
3) la tension assignée par rapport à la terre et aux bornes des pôles	4.1
4) le niveau d'isolement assigné par rapport à la terre et aux bornes des pôles	4.2
5) la fréquence assignée	4.3
6) le courant assigné en service continu	4.4
7) le courant de courte durée admissible assigné	4.5
8) la valeur de crête du courant admissible assigné	4.6
9) la durée de court-circuit assignée	4.7
10) la séquence de manœuvres assignée	4.101
11) le courant assigné de contournement	4.102
12) la fréquence du courant assigné de contournement	4.102
13) le courant de décharge de la batterie de condensateurs	3.8.28
14) l'amortissement du courant de contournement	4.102
15) le courant assigné d'insertion	4.103
16) la tension de crête maximale limite du dispositif de protection contre les surtensions	4.104
17) la durée minimale jusqu'à la première crête de tension pendant l'insertion	4.104
18) la durée de fermeture assignée maximale et la durée d'ouverture-fermeture assignée maximale	4.105
19) les essais de type spécifiés sur demande spéciale (par exemple, pollution artificielle et perturbations radioélectriques, etc.)	
20) la classe M1 ou M2 pour l'endurance mécanique	4.106

b) les essais de type:

le certificat ou le rapport sur demande;

c) les détails constructifs:

Les détails suivants sont requis s'il y a lieu, suivant la conception:

- 1) la masse de l'interrupteur de contournement complet sans les fluides d'isolation, de contournement, d'insertion et de manœuvre;
- 2) la masse/le volume du fluide pour l'isolation, sa qualité et la gamme d'opération, y compris la valeur minimale de fonctionnement;
- 3) la masse/le volume du fluide pour le contournement et l'insertion (si le fluide est différent de celui de 2) et/ou 4)), sa qualité et la gamme d'opération, y compris la valeur minimale de fonctionnement;
- 4) la masse/le volume du fluide pour la manœuvre (si le fluide est différent de celui de 2) et/ou 3)), sa qualité et la gamme d'opération, y compris la valeur minimale de fonctionnement;
- 5) la qualification en étanchéité;
- 6) la masse/le volume des fluides par pôle, à remplir jusqu'à un niveau suffisant pour empêcher toute dégradation de composants internes pendant le stockage et le transport;
- 7) le nombre d'éléments en série par pôle;
- 8) les distances d'isolement minimales dans l'air:
 - entre pôles;
 - par rapport à la terre;
 - les limites du périmètre de sécurité pendant une manœuvre de contournement pour les interrupteurs de contournement munis d'un dispositif d'évacuation à l'extérieur des gaz ionisés ou des flammes;

- 9) toutes autres dispositions spéciales pour assurer le maintien des caractéristiques assignées de l'interrupteur de contournement aux températures prescrites de l'air ambiant (par exemple, chauffage, refroidissement);
- d) le mécanisme de manœuvre d'un interrupteur de contournement et l'équipement associé:
- 1) le type de mécanisme de manœuvre;
 - 2) la tension assignée d'alimentation et/ou pression du mécanisme de fermeture, limites de pression si elles diffèrent ou dépassent les valeurs spécifiées en 9.102 c) 4);
 - 3) le courant requis à la tension assignée d'alimentation pour fermer l'interrupteur de contournement;
 - 4) l'énergie nécessaire à la fermeture de l'interrupteur de contournement, par exemple mesurée en chute de pression;
 - 5) la tension assignée d'alimentation du déclencheur shunt d'ouverture;
 - 6) le courant requis à la tension assignée d'alimentation pour le déclencheur shunt d'ouverture;
 - 7) le nombre et le type des contacts auxiliaires de réserve;
 - 8) le courant requis à la tension assignée d'alimentation par les autres auxiliaires;
 - 9) le réglage des dispositifs de verrouillage à haute et à basse pression;
 - 10) le nombre de déclencheurs de fermeture, s'il en existe plus d'un;
 - 11) le nombre de déclencheurs d'ouverture, s'il en existe plus d'un;
- e) les dimensions hors tout et autres renseignements.

Le constructeur doit communiquer les renseignements nécessaires concernant les dimensions générales de l'interrupteur de contournement et les renseignements détaillés nécessaires à la conception de la fondation.

Des renseignements généraux concernant la maintenance de l'interrupteur de contournement et de ses raccordements doivent être fournis.

10 Règles pour le transport, le stockage, l'installation, la manœuvre et la maintenance

L'Article 10 de la CEI 62271-1 est applicable avec les compléments suivants.

10.1 Conditions à respecter pendant le transport, le stockage et l'installation

Le paragraphe 10.1 de la CEI 62271-1 est applicable.

10.2 Installation

Les paragraphes 10.2.1 à 10.2.4 de la CEI 62271-1 sont applicables avec le complément suivant.

10.2.101 Guide pour les essais de mise en service

Après l'installation de l'interrupteur de contournement et l'achèvement de tous les raccordements, il est recommandé d'effectuer les essais de mise en service. L'objet de tels essais est de vérifier que le transport et le stockage n'ont pas endommagé l'interrupteur de contournement. De plus, quand une grande partie de l'assemblage et/ou du réglage est exécutée sur le site comme indiqué en 7.101, les essais sont nécessaires pour vérifier la compatibilité des sous-ensembles et contrôler la qualité du travail et les caractéristiques fonctionnelles dépendant de ce travail.

En complément des exigences de 10.2.102, un nombre minimal de 50 manœuvres à vide doit être réalisé à la mise en service, au site, de l'interrupteur de contournement lorsque de grands sous-ensembles sont assemblés sur site sans essais de routine antérieurs sur

l'interrupteur de contournement complet. Ces manœuvres doivent être faites après l'assemblage, les raccordements et les vérifications et après l'exécution du programme d'essais de mise en service. Ces manœuvres peuvent comprendre des manœuvres différées d'essais de routine faisant partie du programme d'essais de mise en service seulement lorsqu'elles sont faites après l'exécution des réglages sur site et des contrôles d'étanchéité. Le but de ces essais est de réduire les cas de mauvais fonctionnement et de défaut peu de temps après la mise en service de l'interrupteur de contournement.

Le constructeur doit établir un programme d'essais et de vérifications à la mise en service. La répétition du programme complet d'essais individuels, déjà effectué en usine, doit être évitée dans la mesure où le but des essais de mise en service est de confirmer

- l'absence de dommage;
- la compatibilité d'éléments séparés;
- que le montage est correctement effectué;
- les performances correctes de l'interrupteur de contournement assemblé.

En général, cela est obtenu lorsque le programme d'essais de mise en service se compose, sans y être limité, du programme donné en 10.2.102. Les résultats des essais doivent être enregistrés dans un compte rendu d'essais.

10.2.102 Programme d'essais et de vérifications à la mise en service

10.2.102.1 Vérifications après installation

Le paragraphe 10.2.101 impose au constructeur d'établir un programme d'essais et de vérifications à la mise en service. Il convient que celui-ci soit basé sur le programme d'essais et de vérifications indiqué ici, sans toutefois s'y limiter.

10.2.102.1.1 Vérification générale

La vérification générale doit comprendre ce qui suit:

- la vérification de l'assemblage, conformément aux dessins et aux instructions du constructeur;
- la vérification de l'étanchéité de l'interrupteur de contournement, des serrages, des systèmes hydrauliques et des dispositifs de commande;
- la vérification que l'isolation externe et, si cela s'applique, l'isolation interne, sont propres et non endommagées;
- la vérification que la peinture et que la protection contre la corrosion est adéquate;
- la vérification que les dispositifs de commande, en particulier des déclencheurs de manœuvre sont exempts de contamination;
- la vérification que le raccordement à la terre est complet et suffisant jusqu'à l'interface comprise avec le réseau de mise à la terre du poste;

et si applicable:

- l'enregistrement du nombre de manœuvres indiqué par le ou les compteurs à la livraison;
- l'enregistrement du nombre de manœuvres indiqué par le ou les compteurs à l'issue des essais de mise en service;
- l'enregistrement du nombre de manœuvres indiqué par le ou les compteurs lors de la première mise sous tension.

10.2.102.1.2 Vérification des circuits électriques

La vérification des circuits électriques doit comprendre:

- la conformité au schéma de câblage;
- le fonctionnement correct de la signalisation (positions, alarmes, verrouillages, etc.);
- le fonctionnement correct du chauffage et de l'éclairage.

10.2.102.1.3 Vérification du ou des fluides d'isolement et/ou d'extinction

Huile	Type, tenue diélectrique (CEI 60296), niveau
SF ₆	Vérification de la pression/de la densité de remplissage et de la qualité, pour confirmer les niveaux d'acceptation de la CEI 60376, de la CEI 60480 et CEI 61634. Cette vérification de la qualité n'est pas exigée pour les appareils scellés et dans le cas de gaz neuf provenant de bouteilles scellées. Une vérification du point de rosée et du niveau total d'impuretés doit être effectuée pour confirmer les critères d'acceptation du constructeur
Mélanges gazeux	La qualité doit être confirmée avant la mise sous tension
Air comprimé	Qualité (si cela est applicable) et pression

10.2.102.1.4 Vérification du ou des fluides de manœuvre, en cas de remplissage ou de complément sur site

Huile hydraulique	Niveau et, à moins d'un accord contraire, confirmation que l'humidité contenue est suffisamment faible pour éviter une corrosion interne ou d'autres dommages au système hydraulique
Azote	Pression de remplissage et pureté (par exemple sans oxygène ou avec 1 % de gaz traceur)

10.2.102.1.5 Manœuvres sur site

Une confirmation doit être donnée que le programme d'essais et de vérifications de mise en service exigé en 7.101 a été effectué et, si applicable, complété par les 50 manœuvres additionnelles exigées en 10.2.101.

10.2.102.2 Essais mécaniques et mesurages

10.2.102.2.1 Mesurages des pressions caractéristiques du fluide d'isolement et/ou de contournement et d'insertion (si applicable)

10.2.102.2.1.1 Généralités

Les mesurages suivants doivent être faits afin de les comparer à la fois avec les valeurs enregistrées lors des essais individuels et avec celles garanties par le constructeur. Ces valeurs servent de référence pour les futures maintenances et autres vérifications, et permettront de déceler une dérive éventuelle des caractéristiques de fonctionnement.

Ces mesurages comprennent, si applicable, une vérification du fonctionnement des dispositifs d'alarme et de verrouillage (manostats, relais, transducteurs, etc.).

10.2.102.2.1.2 Mesurages à effectuer

- a) Si applicable, mesurages à la montée en pression:
- la valeur de désactivation du verrouillage de fermeture;
 - la valeur de désactivation du verrouillage d'ouverture;
 - la valeur de désactivation du verrouillage de réouverture automatique;

- la valeur de disparition de l'alarme de basse pression.
- b) Si applicable, à la baisse de pression:
 - la valeur d'apparition de l'alarme de basse pression;
 - la valeur d'activation du verrouillage de réouverture automatique;
 - la valeur d'activation du verrouillage d'ouverture;
 - la valeur d'activation du verrouillage de fermeture.

10.2.102.2.2 Mesurages des pressions caractéristiques du fluide de commande (si applicable)

10.2.102.2.2.1 Généralités

Il faut effectuer les mesurages suivants (liste à adapter suivant les cas) pour les comparer à la fois aux valeurs enregistrées lors des essais individuels et aux valeurs garanties par le constructeur. Ces valeurs peuvent servir de référence lors des contrôles ultérieurs (maintenance) et permettront de déceler une dérive éventuelle des caractéristiques de fonctionnement.

Ces mesurages impliquent une vérification de la manœuvre des dispositifs de verrouillage et d'alarme (manostats, relais, etc.).

10.2.102.2.2.2 Mesurages à effectuer

- a) À la montée en pression, avec le dispositif de gonflage (pompe, compresseur, vanne commandée, etc.) en service:
 - la valeur de désactivation du verrouillage de fermeture;
 - la valeur de désactivation du verrouillage d'ouverture;
 - la valeur de désactivation du verrouillage de réouverture automatique (si applicable);
 - la valeur de disparition de l'alarme de basse pression;
 - la valeur d'arrêt du dispositif de regonflage;
 - la valeur d'ouverture de la soupape de sûreté (si applicable).

NOTE Les mesurages peuvent être combinés avec le mesurage des temps de regonflage du mécanisme de manœuvre (voir 10.2.102.2.5.2).

- b) À la descente en pression, le dispositif de gonflage étant maintenu hors service:
 - la valeur de fermeture de la soupape de sûreté (si applicable);
 - la valeur de démarrage du dispositif de regonflage;
 - la valeur d'apparition de l'alarme de basse pression;
 - la valeur de verrouillage de la réouverture automatique (si applicable);
 - la valeur de verrouillage de l'ouverture;
 - la valeur de verrouillage de la fermeture.

Dans le cas d'une commande hydraulique, il convient d'indiquer, avant le début des essais, la pression de pré-gonflage des accumulateurs, ainsi que la température de l'air ambiant.

10.2.102.2.3 Mesurage des consommations lors des manœuvres (si applicable)

Le dispositif de gonflage étant hors service et la réserve individuelle à la pression de démarrage du dispositif de gonflage, il convient d'évaluer les consommations lors de chacune des manœuvres ou séquences de manœuvres suivantes:

- O;
- C;

– OC.

Il convient de noter la pression stabilisée après chaque manœuvre ou séquence de manœuvres.

10.2.102.2.4 Vérification de la séquence de manœuvres assignée

Il convient de vérifier la capacité de l'interrupteur de contournement à effectuer sa séquence de manœuvres assignée. Il convient de réaliser les essais avec les dispositifs de recharge en service, à la tension d'alimentation du site et, si cela est applicable, en partant de la pression de démarrage du dispositif de gonflage comme en 10.2.102.2.3.

Il convient de démontrer la coordination entre les niveaux d'intervention du dispositif de verrouillage et les valeurs minimales de pression mesurées pendant la séquence de manœuvres assignée.

La tension d'alimentation sur le site est la tension en charge disponible sur l'interrupteur de contournement à partir de la source d'alimentation normale sur le site, et il convient qu'elle soit compatible avec la tension d'alimentation assignée des circuits auxiliaires et de commande.

10.2.102.2.5 Mesurages des durées

10.2.102.2.5.1 Durées caractéristiques de l'interrupteur de contournement

a) Durées de fermeture et d'ouverture, écart de simultanéité

Il convient d'effectuer les mesurages suivants à la pression maximale (arrêt du dispositif de gonflage) et à la tension d'alimentation des circuits auxiliaires et de commande, mesurée aux bornes de l'équipement et dans les conditions de charge types de la source de tension d'alimentation:

- la durée de fermeture de chaque pôle, l'écart de simultanéité des pôles et, lorsque cela est possible, l'écart de simultanéité des éléments de contournement ou des groupes d'éléments de chaque pôle;
- la durée d'ouverture de chaque pôle, l'écart de simultanéité des pôles et, lorsque cela est possible, l'écart de simultanéité des éléments de contournement ou des groupes d'éléments de chaque pôle.

Il convient d'effectuer ces mesures pour des manœuvres séparées d'ouverture et de fermeture et pour les manœuvres individuelles d'ouverture et de fermeture d'un cycle de manœuvres OC, dans le cas d'un interrupteur de contournement avec une séquence de manœuvres assignée $C - t - OC - t' - OC$.

Dans le cas de bobines de fermeture et de déclenchement multiples, il convient de toutes les soumettre aux essais et d'enregistrer les temps pour chacune d'elles.

Il convient d'enregistrer la tension d'alimentation avant et pendant les manœuvres.

b) Fonctionnement des contacts de commande et des contacts auxiliaires

Il convient de déterminer la synchronisation du fonctionnement d'un contact auxiliaire et de commande de chaque type (contournement et insertion) par rapport à celui des contacts principaux, à la fermeture et à l'ouverture de l'interrupteur de contournement.

10.2.102.2.5.2 Durée de réarmement du mécanisme de manœuvre

a) Mécanisme à commande par fluide

Il convient de mesurer le temps de fonctionnement du dispositif de gonflage (pompe, compresseur, vanne commandée, etc.):

- entre la pression minimale et la pression maximale (démarrage et arrêt du dispositif de gonflage);

- lors des manœuvres ou séquences de manœuvres suivantes, en partant chaque fois de la pression minimale (démarrage du dispositif de gonflage):
 - C;
 - O;
 - OC.

b) Mécanisme de manœuvre à ressort

Il convient de mesurer le temps de recharge du moteur après une manœuvre d'ouverture à la tension d'alimentation du site.

10.2.102.2.6 Enregistrement des caractéristiques de déplacement mécanique

Comme exigé en 7.101, un enregistrement des caractéristiques de déplacement mécanique peut être fait lorsque le montage complet de l'interrupteur de contournement a été fait pour la première fois sur site ou si tout ou partie des essais individuels est effectué sur site. L'enregistrement doit confirmer la qualité du fonctionnement par comparaison avec la caractéristique de déplacement mécanique de référence qui a été obtenue pendant les essais de référence à vide détaillés en 6.101.1.1.

10.2.102.2.7 Vérification de certaines manœuvres spécifiques

10.2.102.2.7.1 Réouverture automatique à la pression minimale pour la manœuvre (si applicable)

Le dispositif de gonflage étant hors service, il convient de réduire la pression de commande jusqu'à la valeur de verrouillage de la réouverture automatique et d'effectuer une séquence de manœuvres de réouverture automatique (sous les conditions du site, il peut être nécessaire d'utiliser une temporisation séparée pour donner l'ordre de réouverture). Il convient d'effectuer cet essai à la tension d'alimentation de l'équipement. Il convient d'enregistrer la tension d'alimentation avant et pendant les manœuvres. Il convient de relever la pression finale et de s'assurer qu'il existe une marge de sécurité suffisante jusqu'à la pression de fonctionnement minimale pour la fermeture de manière à se prémunir contre des variations de pression transitoires et d'une dérive éventuelle des pressostats.

En cas de doute, on peut réaliser une variante de l'essai ci-dessus en partant d'une pression plus basse que celle de la pression minimale pour la manœuvre pour la réouverture automatique (contact court-circuité). Il convient de vérifier ensuite qu'une manœuvre de fermeture est encore possible.

10.2.102.2.7.2 Fermeture à la pression minimale pour la manœuvre (si applicable)

Le dispositif de gonflage étant hors service, il convient de réduire la pression de commande jusqu'à la valeur de verrouillage de fermeture et d'effectuer une manœuvre de fermeture. Il convient d'effectuer cet essai à la tension d'alimentation de l'équipement. Il convient d'enregistrer la tension d'alimentation avant et pendant les manœuvres. Il convient de noter la pression finale.

10.2.102.2.7.3 Ouverture à la pression minimale pour la manœuvre (si applicable)

Le dispositif de gonflage étant hors service, il convient de diminuer la pression de commande jusqu'à la valeur de verrouillage de l'ouverture et d'effectuer une manœuvre d'ouverture. Il convient d'effectuer cet essai à la tension d'alimentation de l'équipement. Il convient d'enregistrer la tension d'alimentation avant et pendant les manœuvres. Il convient de relever la pression finale et de garantir une marge de sécurité suffisante par rapport à la pression minimale pour la fermeture.

En cas de doute, on peut réaliser une variante de l'essai ci-dessus en partant d'une pression plus basse que la pression minimale d'ouverture (contact court-circuité). Il convient de vérifier ensuite qu'une manœuvre de fermeture est encore possible.

10.2.102.2.7.4 Simulation d'une fermeture sur défaut et vérification du dispositif d'anti-pompage

Il convient de mesurer la durée pendant laquelle l'interrupteur de contournement reste ouvert pendant un cycle de manœuvres OC, le circuit de fermeture étant mis sous tension par la fermeture du contact auxiliaire.

Cet essai permet également de vérifier le fonctionnement du dispositif d'anti-pompage et l'absence de fonctionnement anormal de la commande pour toute cause mécanique, hydraulique ou pneumatique provoquée par la rapidité de l'envoi de l'ordre de fermeture.

Afin de vérifier l'efficacité du dispositif d'anti-pompage, il convient de maintenir l'ordre d'ouverture pendant 1 s à 2 s.

NOTE Un essai d'anti-pompage simplifié peut également être effectué à l'aide de la commande locale. Dans ce cas, on donne et on maintient un ordre d'ouverture, immédiatement suivi d'un ordre de fermeture.

10.2.102.2.7.5 Comportement de l'interrupteur de contournement sur un ordre d'ouverture lorsqu'un ordre de fermeture est déjà présent

Il convient de vérifier que l'interrupteur de contournement satisfait aux exigences techniques en présence d'un ordre d'ouverture, un ordre de fermeture étant préalablement appliqué et maintenu.

10.2.102.2.7.6 Envoi d'un ordre de fermeture simultanément sur les deux déclencheurs (si applicable)

Il peut arriver que les deux déclencheurs (normal et secours) soient alimentés simultanément (ou quasi simultanément).

Il convient de s'assurer qu'il n'existe pas d'interférence mécanique, hydraulique ou pneumatique dans les fonctionnements, surtout si les déclencheurs n'agissent pas au même niveau.

10.2.102.2.7.7 Protection contre les discordances de pôles (si applicable)

Il convient de vérifier la protection contre la discordance de pôles par l'un des essais suivants:

- l'interrupteur de contournement étant ouvert, le déclencheur de fermeture de l'un des pôles doit être alimenté et il faut vérifier si tous les pôles se ferment;
- l'interrupteur de contournement étant fermé, le déclencheur d'ouverture de l'un des pôles doit être alimenté et il faut vérifier si celui-ci s'ouvre puis se referme.

10.2.102.3 Essais et mesurages électriques

10.2.102.3.1 Essais diélectriques

Des essais diélectriques des circuits auxiliaires doivent être effectués pour confirmer que le transport et le stockage de l'interrupteur de contournement n'ont pas endommagé ces circuits. Cependant, il est reconnu que de tels circuits contiennent des composants qui peuvent être endommagés par l'application de la pleine tension d'essai pendant la durée complète de l'essai. Pour éviter ce problème, et pour éviter le retrait temporaire de connexions éprouvées, le fournisseur doit donner le détail du processus d'essai qui démontre que des dommages ne se sont pas produits, ainsi que la méthode d'enregistrement des résultats de ce processus d'essai.

Pour les essais diélectriques du circuit principal des appareillages sous enveloppe métallique, la CEI 62271-200 et la CEI 62271-203 sont applicables (voir bibliographie).

10.2.102.3.2 Mesurage de la résistance des circuits principaux

Le mesurage de la résistance des circuits principaux n'est nécessaire que si les éléments de contournement ont été assemblés sur le site. Le mesurage doit être réalisé avec un courant continu, conformément à 7.3 de la CEI 62271-1.

10.3 Fonctionnement

Le paragraphe 10.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

10.4 Maintenance

Le paragraphe 10.4 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant.

Il convient que le constructeur communique des renseignements concernant la maintenance des interrupteurs de contournement après des manœuvres de contournement et de courant d'insertion.

Il convient que ces renseignements comprennent le nombre de manœuvres après lequel il y a lieu de réviser l'interrupteur de contournement.

Les paragraphes 10.4.1 à 10.4.3 de la CEI 62271-1 sont applicables. Les vérifications exigées en 10.2.102.1.3 s'appliquent.

10.4.101 Résistances et condensateurs (si applicable)

Pour la vérification des résistances et des condensateurs, il est recommandé d'indiquer les tolérances permises sur les valeurs.

11 Sécurité

L'Article 11 de la CEI 62271-1 est applicable avec le complément suivant.

Il convient d'identifier dans le manuel d'instructions de l'interrupteur de contournement tout risque connu de nature chimique et d'impact sur l'environnement.

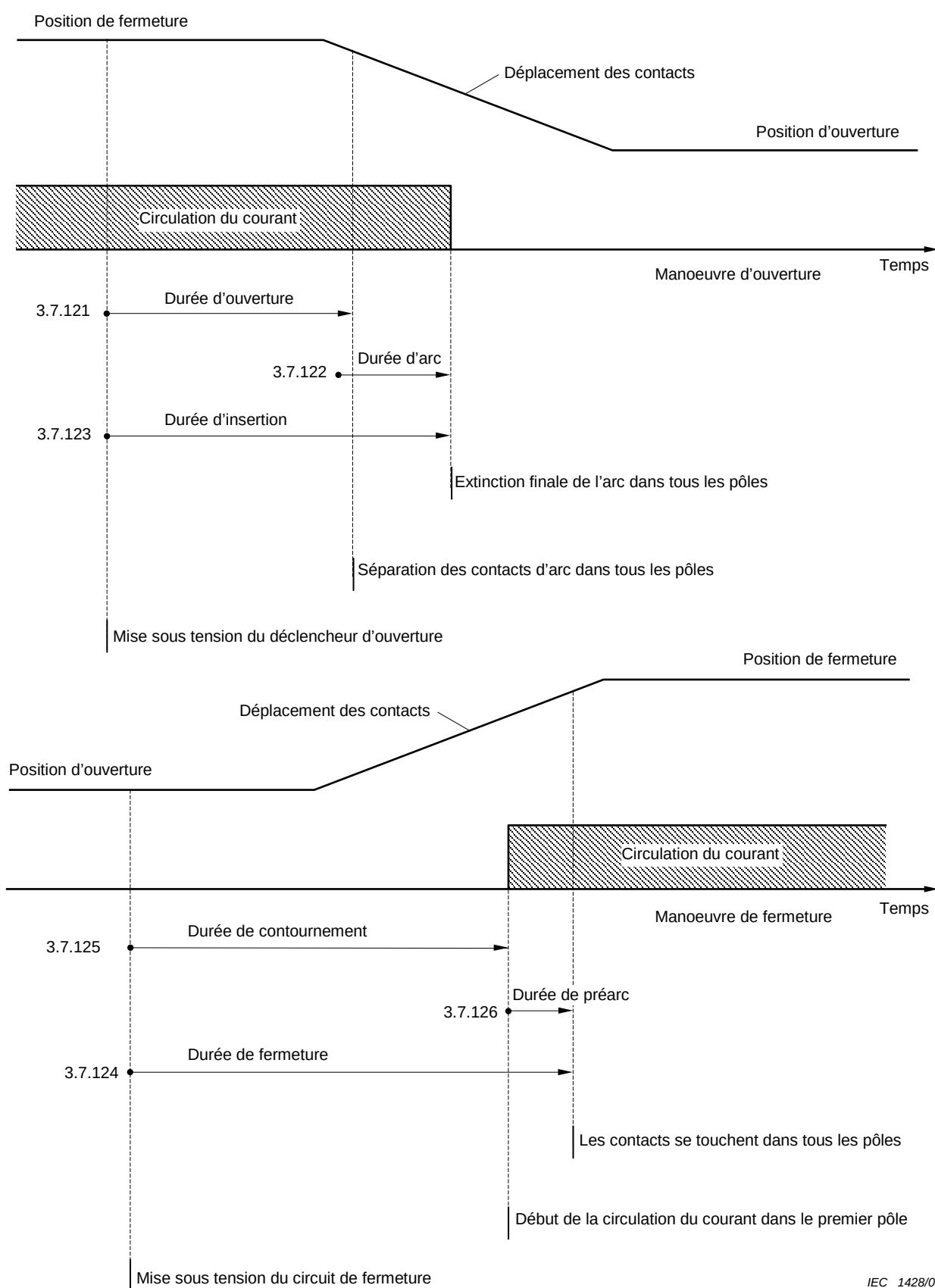
12 Influence du produit sur l'environnement

L'Article 12 de la CEI 62271-1 est applicable.

Notes concernant les Figures 1 à 3 suivantes:

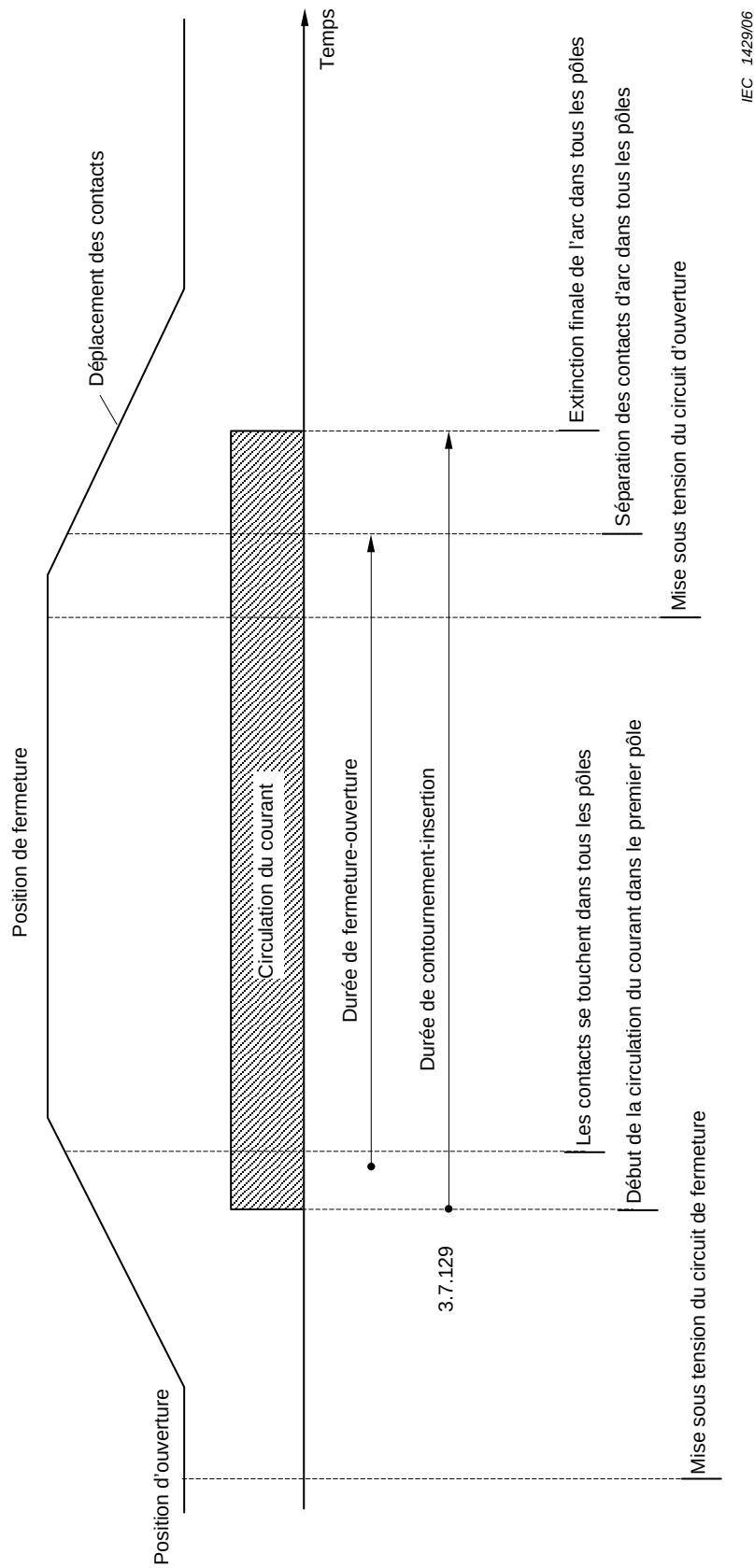
NOTE 1 En pratique, il se produira une dispersion des durées entre les courses des contacts des trois pôles. Pour plus de clarté sur les figures, la course des contacts est indiquée avec une seule ligne pour les trois pôles.

NOTE 2 En pratique, il se produira une dispersion entre le début ainsi qu'entre la fin de la circulation du courant dans les trois pôles. Pour plus de clarté sur les figures, le début ainsi que la fin de la circulation du courant sont indiqués avec une seule ligne pour les trois pôles.



IEC 1428/06

Figure 1 – Interrupteur de contournement – Manœuvres d'ouverture et de fermeture



IEC 1429/06

Figure 2 – Interrupteur de contournement – Cycle de fermeture-ouverture

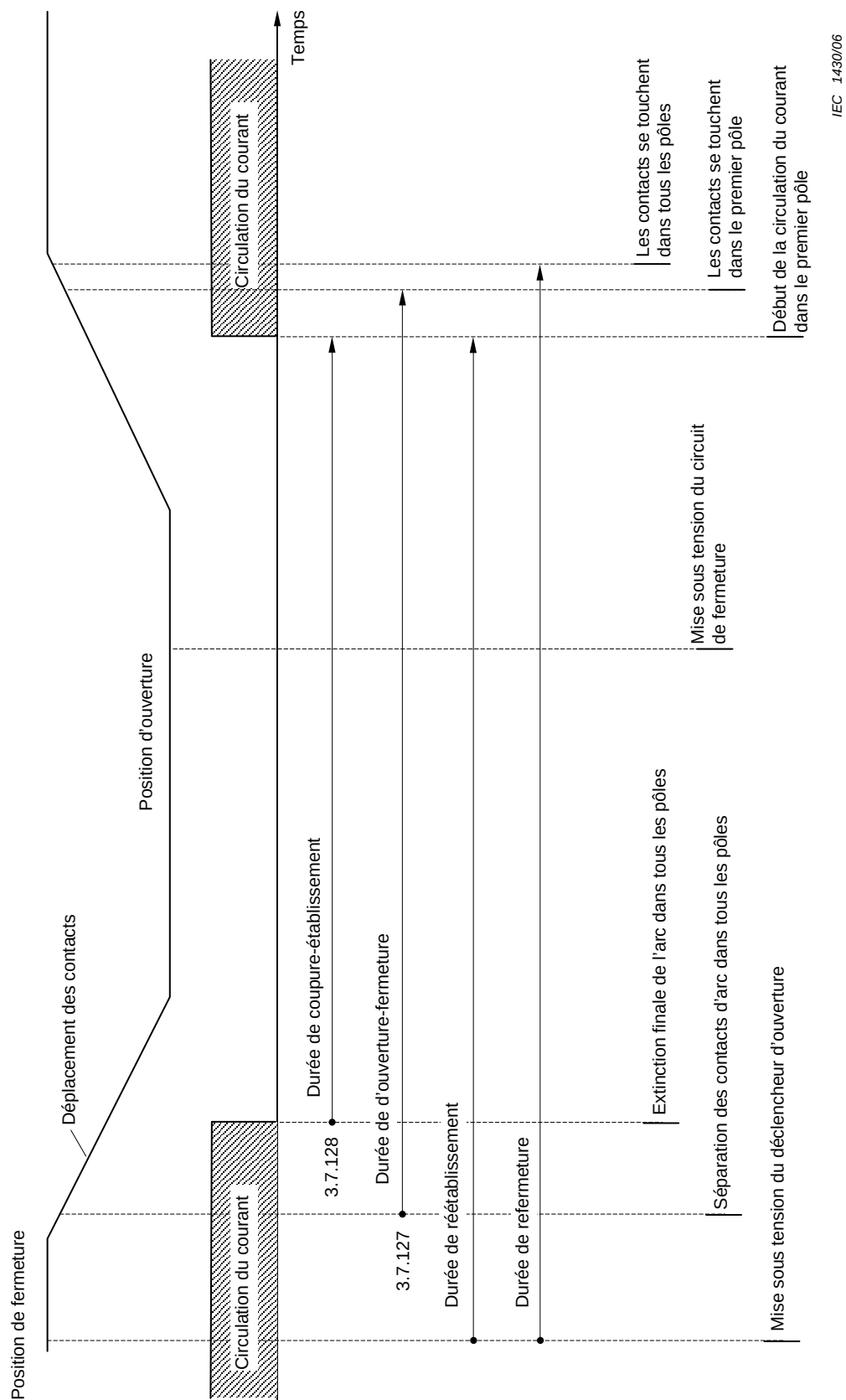


Figure 3 – Interrupteur de contournement – Cycle d'ouverture-fermeture

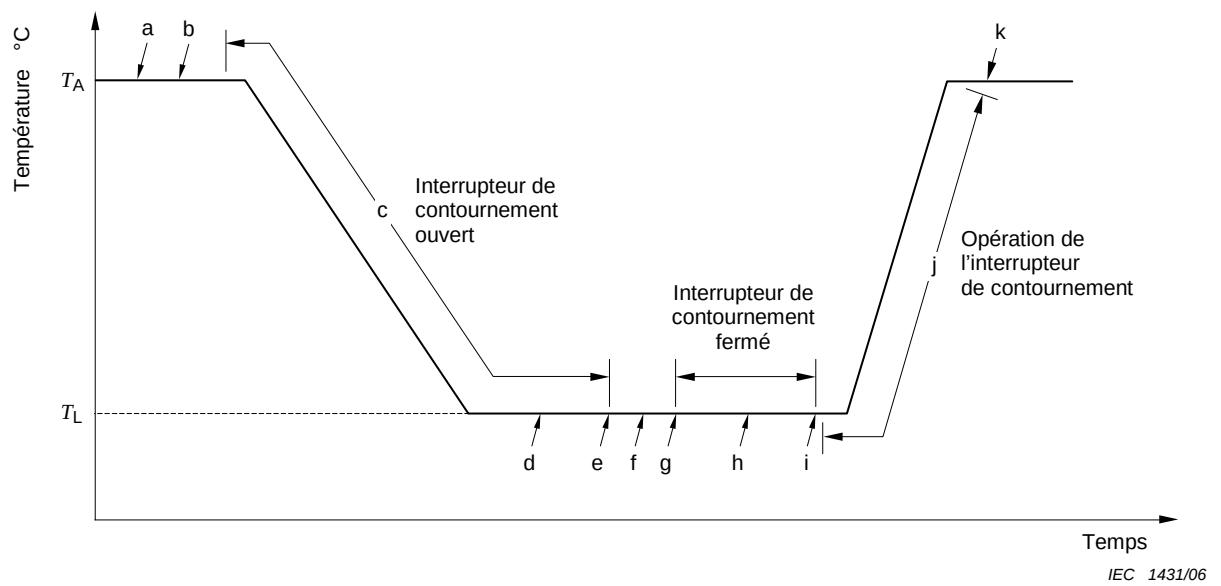


Figure 4a – Essai à basse température

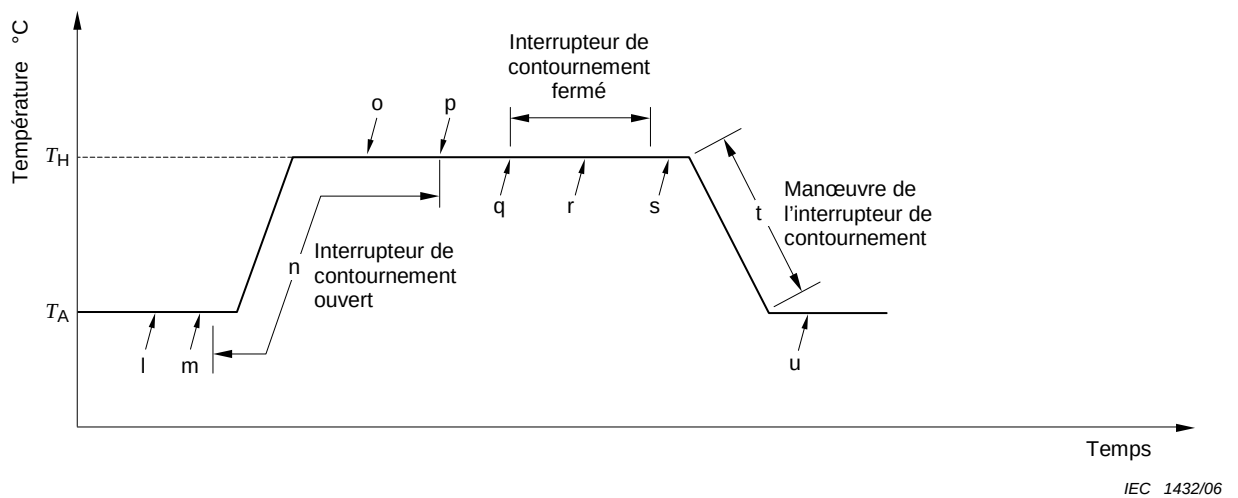
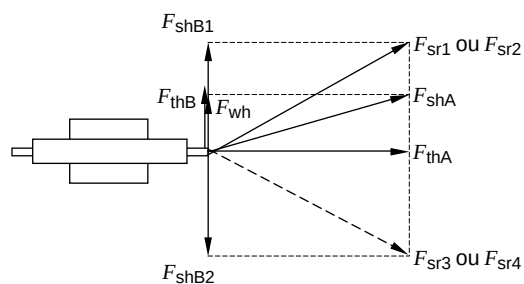


Figure 4b – Essai à haute température

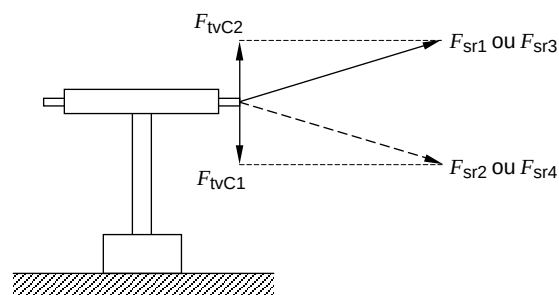
NOTE Les lettres a à u identifient les points d'application des essais spécifiés en 6.101.3.3 et 6.101.3.4.

Figure 4 – Séquences d'essais pour les essais à basse et à haute températures

Interrupteur de contournement avec plus d'un élément de contournement et d'insertion



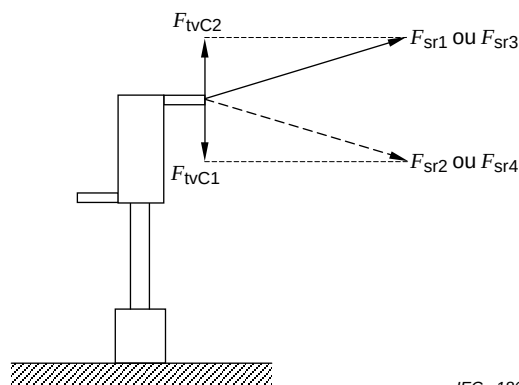
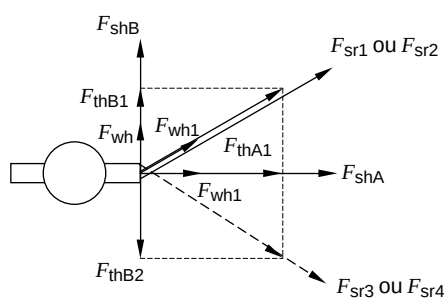
$$F_{shB1} = F_{thB1} + F_{wh} \text{ et } F_{shB2} = F_{thB2} + F_{wh}$$



$$F_{tv} = F_{sv} \text{ (voir 6.101.6.2)}$$

IEC 1863/08

Interrupteur de contournement avec un élément de contournement et d'insertion



IEC 1864/08

Essai selon 6.101.6.2 a): F_{wh} agit dans la direction de la résultante de F_{thB} et F_{thA}

Essai selon 6.101.6.2 b): F_{wh} agit dans la direction F_{thB} et F_{thA}

Légende

F_{thA}	effort horizontal de traction dû aux conducteurs raccordés (direction A)
F_{thB}	effort horizontal de traction dû aux conducteurs raccordés (direction B)
F_{tv}	effort vertical de traction dû aux conducteurs raccordés (direction C)
F_{wh}	effort horizontal sur l'interrupteur de contournement dû à la pression du vent sur l'interrupteur de contournement recouvert de glace
F_{shA}, F_{shB}	efforts horizontaux résultants de F_{thA} , F_{thB} , et F_{wh}
$F_{sr1}, F_{sr2}, F_{sr3}, F_{sr4}$	efforts statiques assignés sur borne (efforts résultants)

NOTE 1 Voir la Figure 6 pour les directions A, B et C.

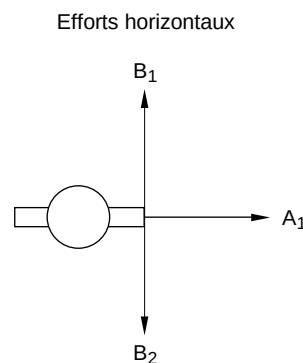
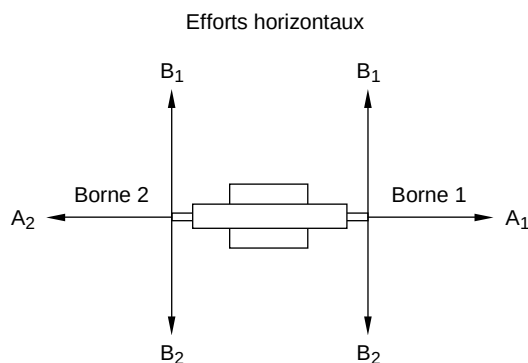
NOTE 2 La lettre index "s" caractérise les valeurs d'essais.

	Horizontal	Vertical	Remarque
Efforts dus au poids mort, au vent et à la glace sur le conducteur raccordé	F_{thA}, F_{thB}	F_{tv}	Selon Tableau 5
Force due au vent et à la glace sur l'interrupteur de contournement ^a	F_{wh}	O	Calculé par le constructeur
^a L'effort horizontal sur l'interrupteur de contournement, dû au vent, peut être déplacé depuis le centre de poussée vers la borne et son amplitude réduite proportionnellement à l'augmentation du bras de levier. (le moment de flexion sur la partie la plus basse de l'interrupteur de contournement est en principe le même.)			

Figure 5 – Efforts statiques sur les bornes

Interrupteur de contournement avec plus d'un élément de contournement et/ou d'insertion

Interrupteur de contournement avec un élément de contournement et/ou d'insertion

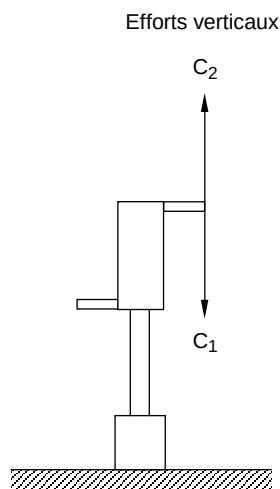
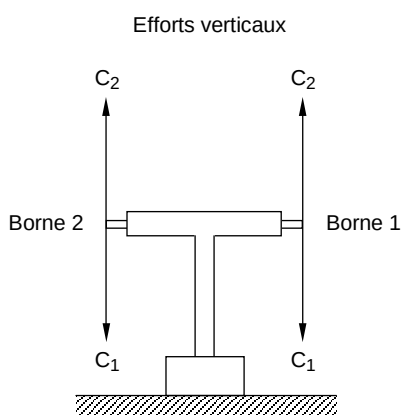


IEC 1865/08

Direction des efforts: A_1 , B_1 , B_2 pour la borne 1

Direction des efforts: A_2 , B_1 , B_2 pour la borne 2

Efforts horizontaux: F_{shA} et F_{shB} (voir Figure 5)



IEC 1866/08

Direction des efforts: C_1 , C_2 , pour la borne 1

Direction des efforts: C_1 , C_2 , pour la borne 2

Efforts verticaux d'essais (dans les deux directions): F_{sv} (voir Figure 5)

NOTE Il suffit de soumettre aux essais une seule borne des interrupteurs de contournement s'ils sont symétriques par rapport à l'axe vertical central du pôle.

Figure 6 – Directions pour les essais d'efforts statiques sur les bornes

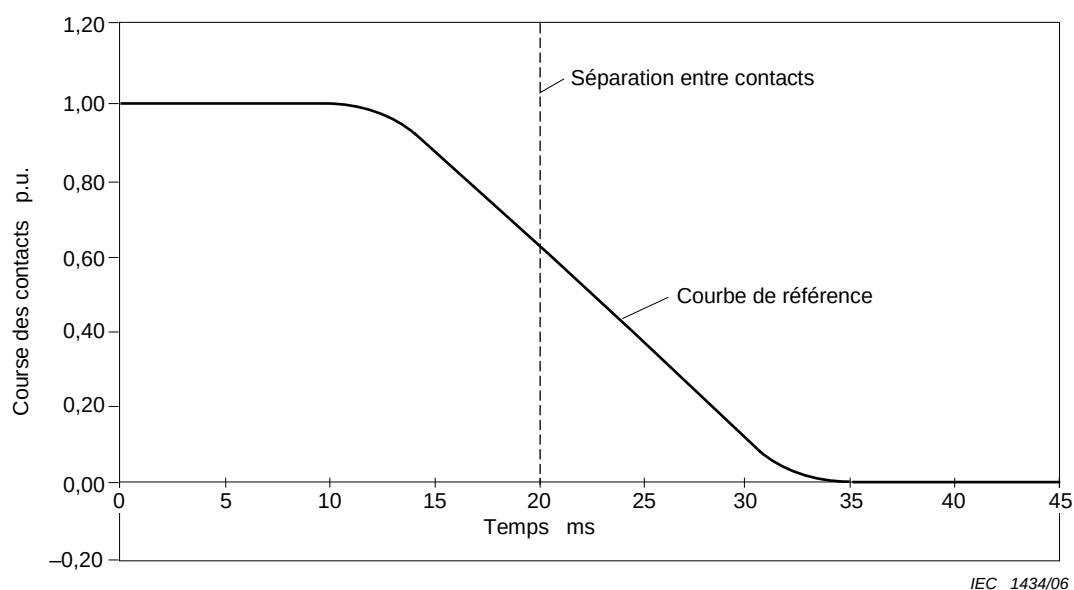


Figure 7 – Caractéristiques de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée)

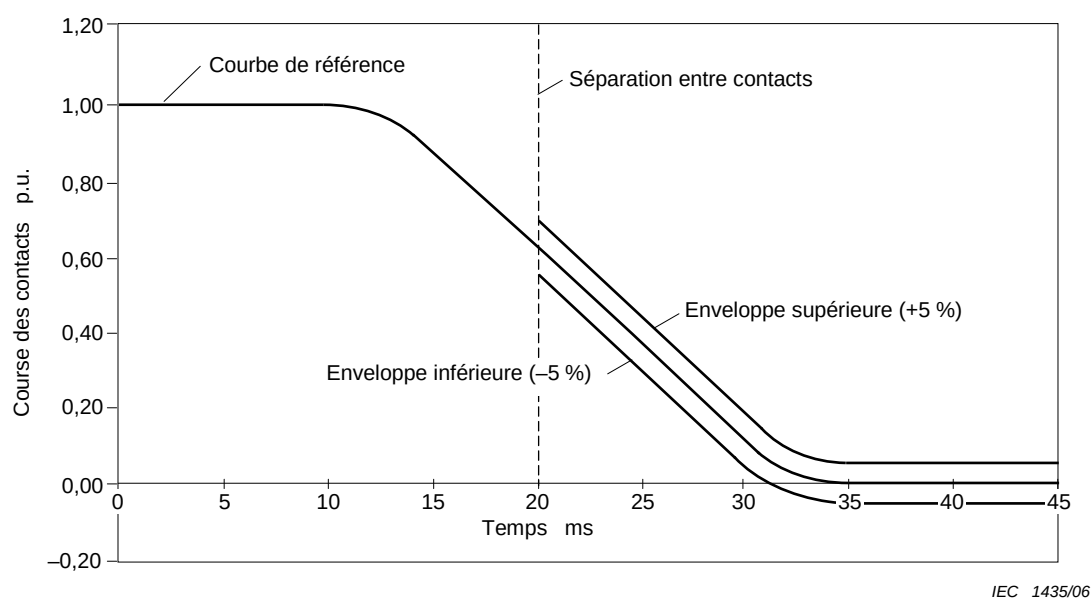


Figure 8 – Caractéristiques de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec les enveloppes prescrites centrées autour de la courbe de référence ($\pm 5\%$), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à $t = 20$ ms

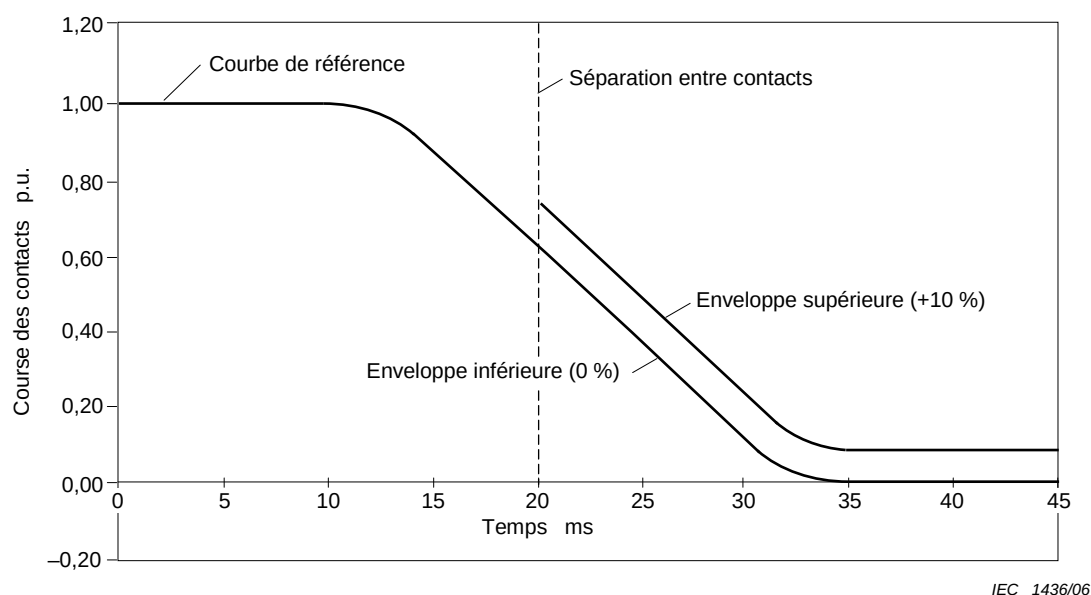


Figure 9 – Caractéristiques de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec les enveloppes prescrites déplacées totalement vers la haut par rapport à la courbe de référence ($^{+10}_0$ %), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à $t = 20$ ms

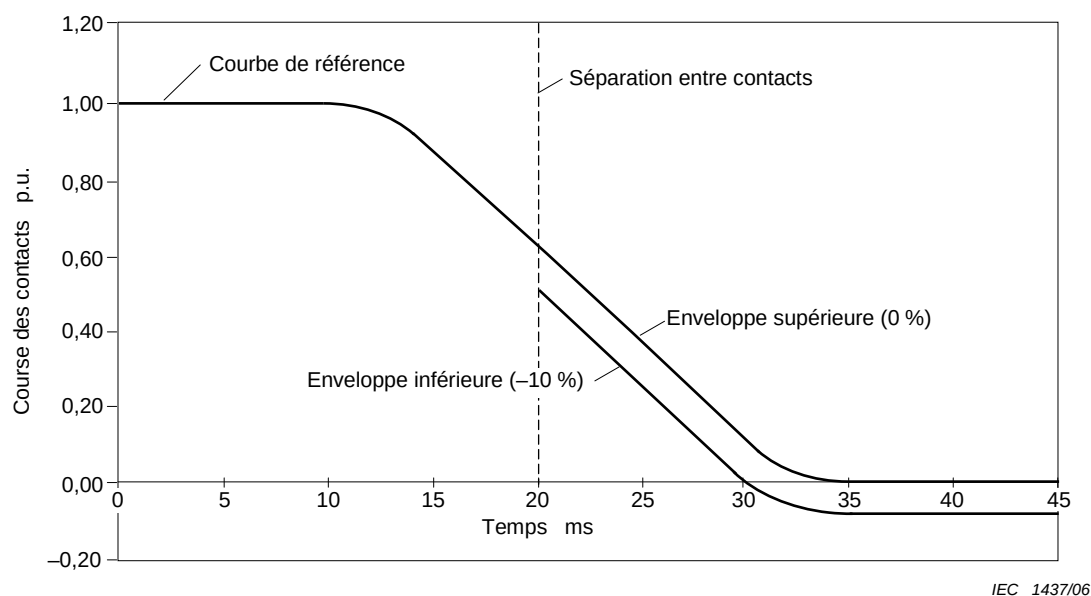
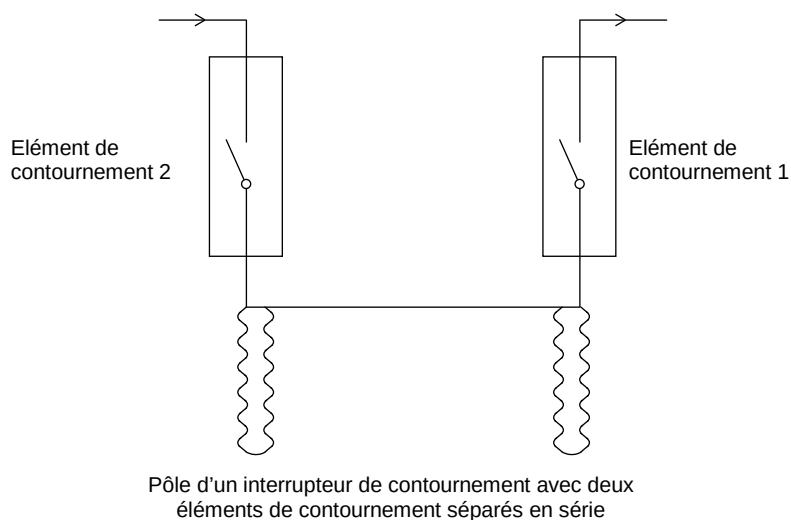
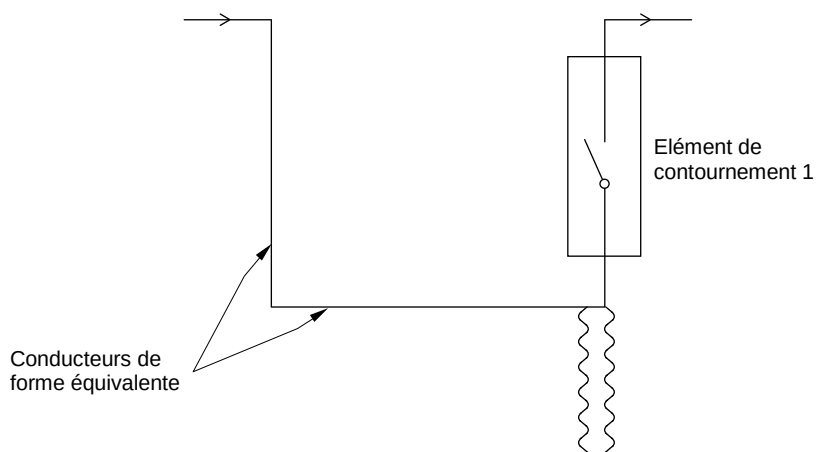


Figure 10 – Caractéristiques de déplacement mécanique de référence (courbe idéalisée) avec les enveloppes prescrites déplacées totalement vers le bas par rapport à la courbe de référence ($^0_{-10}$ %), dans cet exemple la séparation des contacts à lieu à $t = 20$ ms



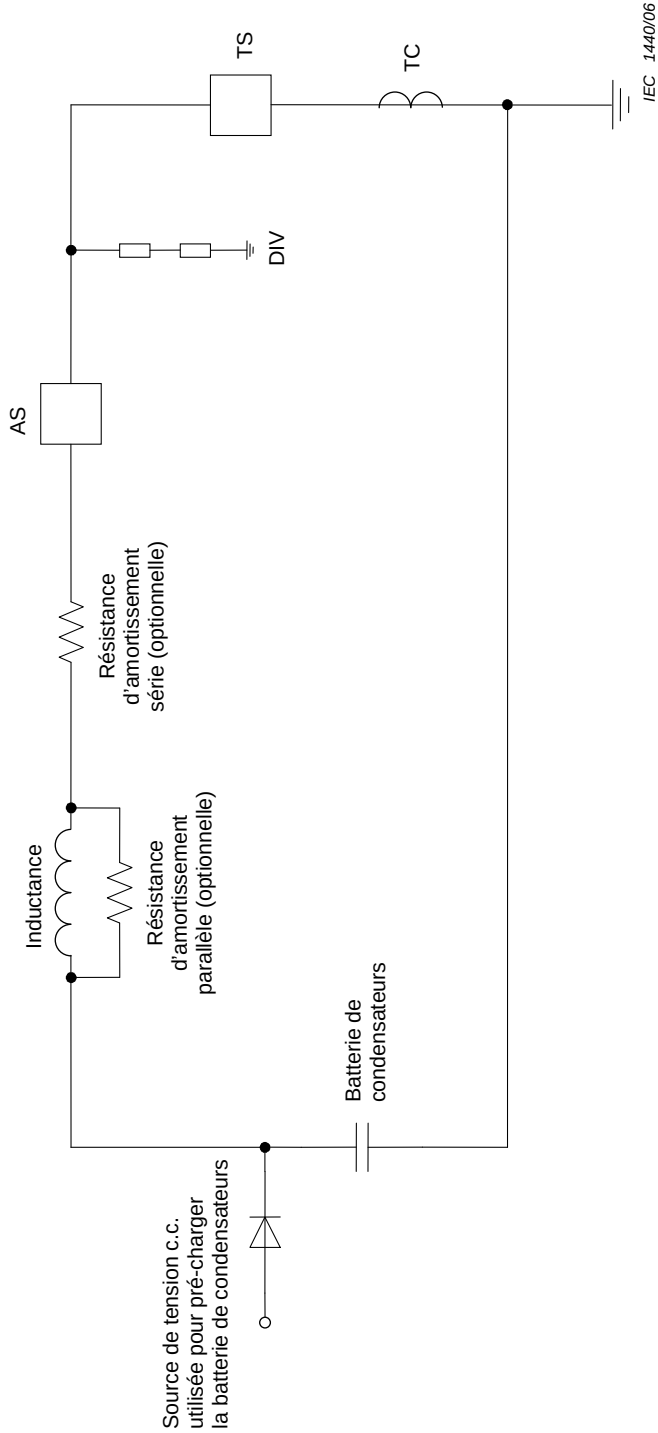
IEC 1438/06



Montage d'essai équivalent pour des essais sur éléments séparés; le second élément de contournement est remplacé par un conducteur de forme équivalente

IEC 1439/06

Figure 11 – Montage d'essai équivalent pour les essais sur éléments séparés des interrupteurs de contournement ayant plus d'un élément de contournement



Légende

DIV diviseur de tension

AS interrupteur auxiliaire

TS interrupteur de contournement en essai

TC dispositif de mesure du courant

Figure 12 – Circuit d'essai typique pour une séquence d'établissement du courant de contournement

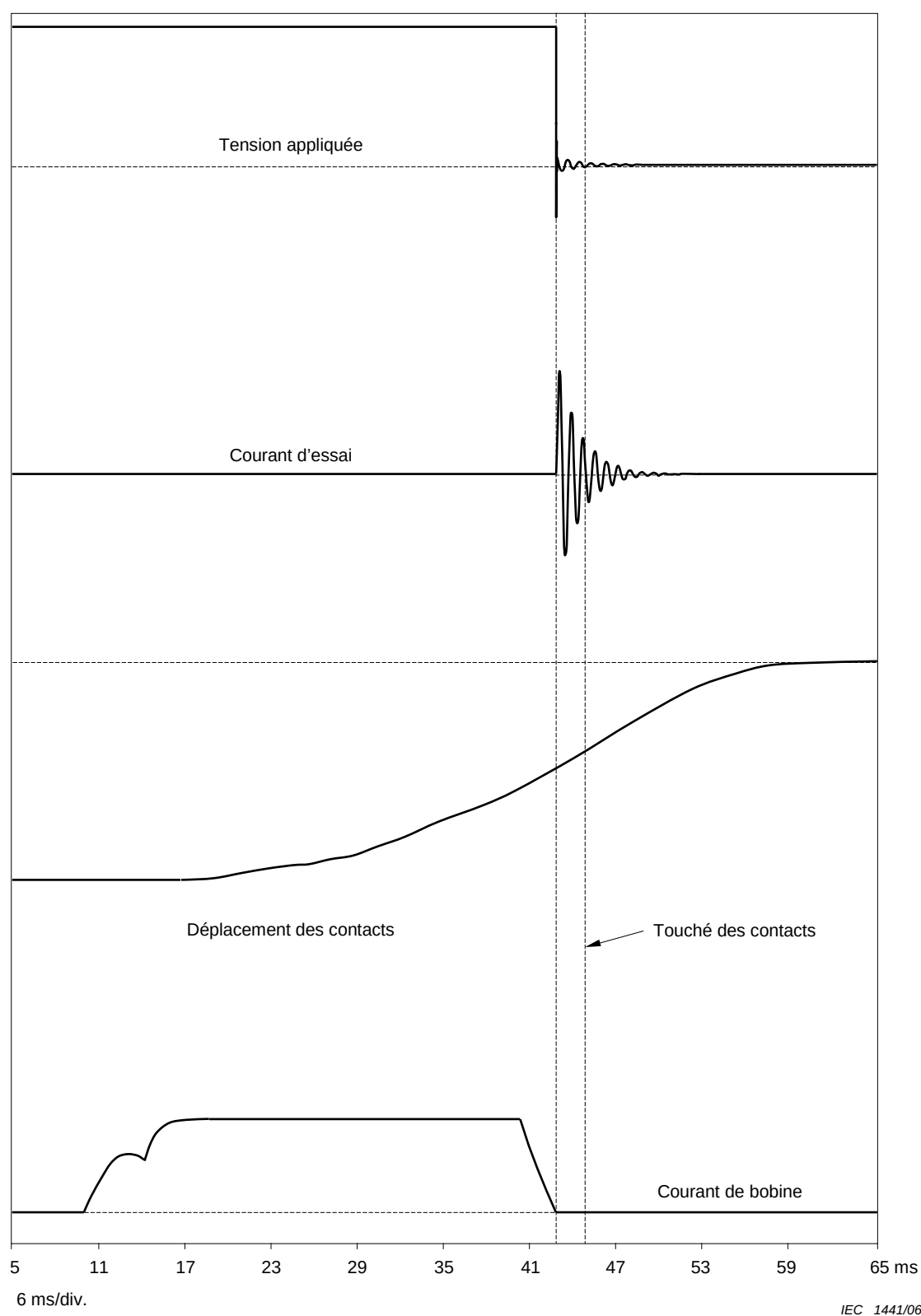
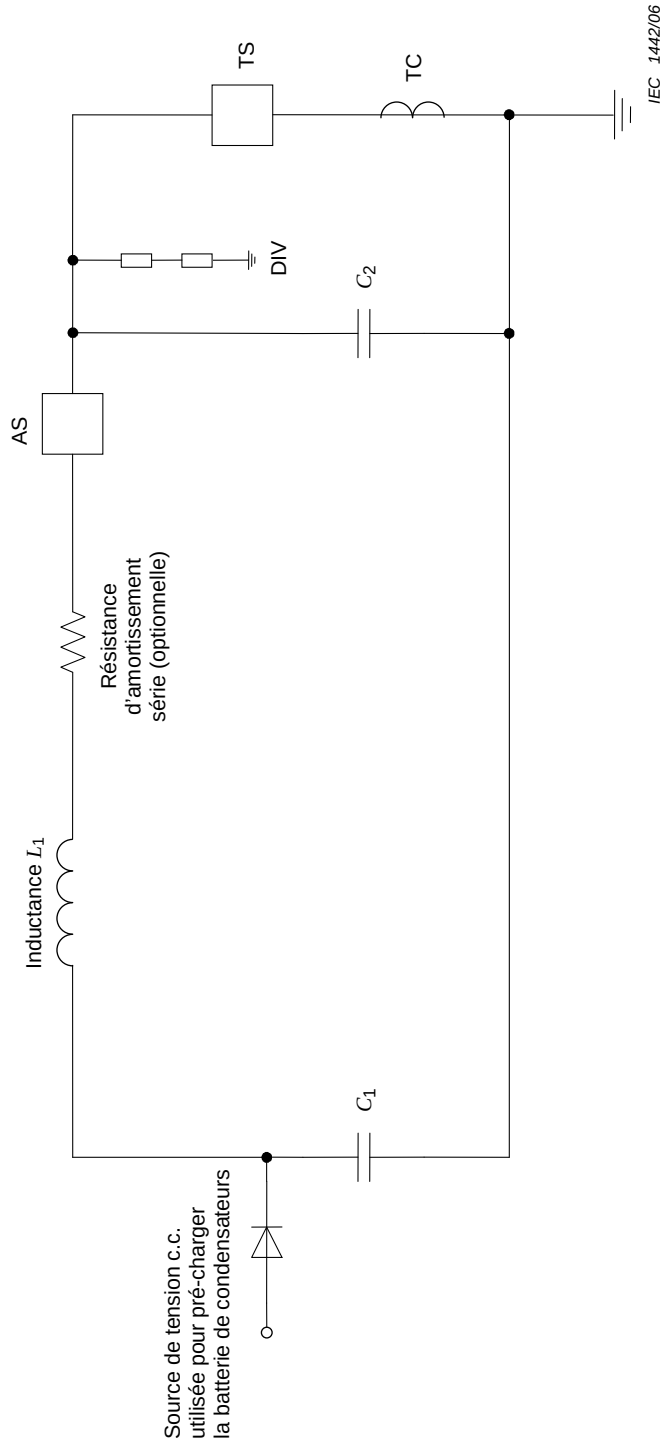


Figure 13 – Oscillogramme obtenu avec le circuit d'essai typique pour une séquence d'essai d'établissement de courant de contournement



Légende

- DIV diviseur de tension
- AS interrupteur auxiliaire
- TS interrupteur de contournement en essai
- TC dispositif de mesure du courant
- C₁ et L₁ réglés à la fréquence assignée (composants de la source de courant)
- C₁, C₂, et L₁ réglés pour obtenir la durée requise jusqu'à la première crête de la tension transitoire de rétablissement (composants de la source de tension)

Figure 14 – Circuit d’essai LC typique pour la séquence d’essai de courant d’insertion

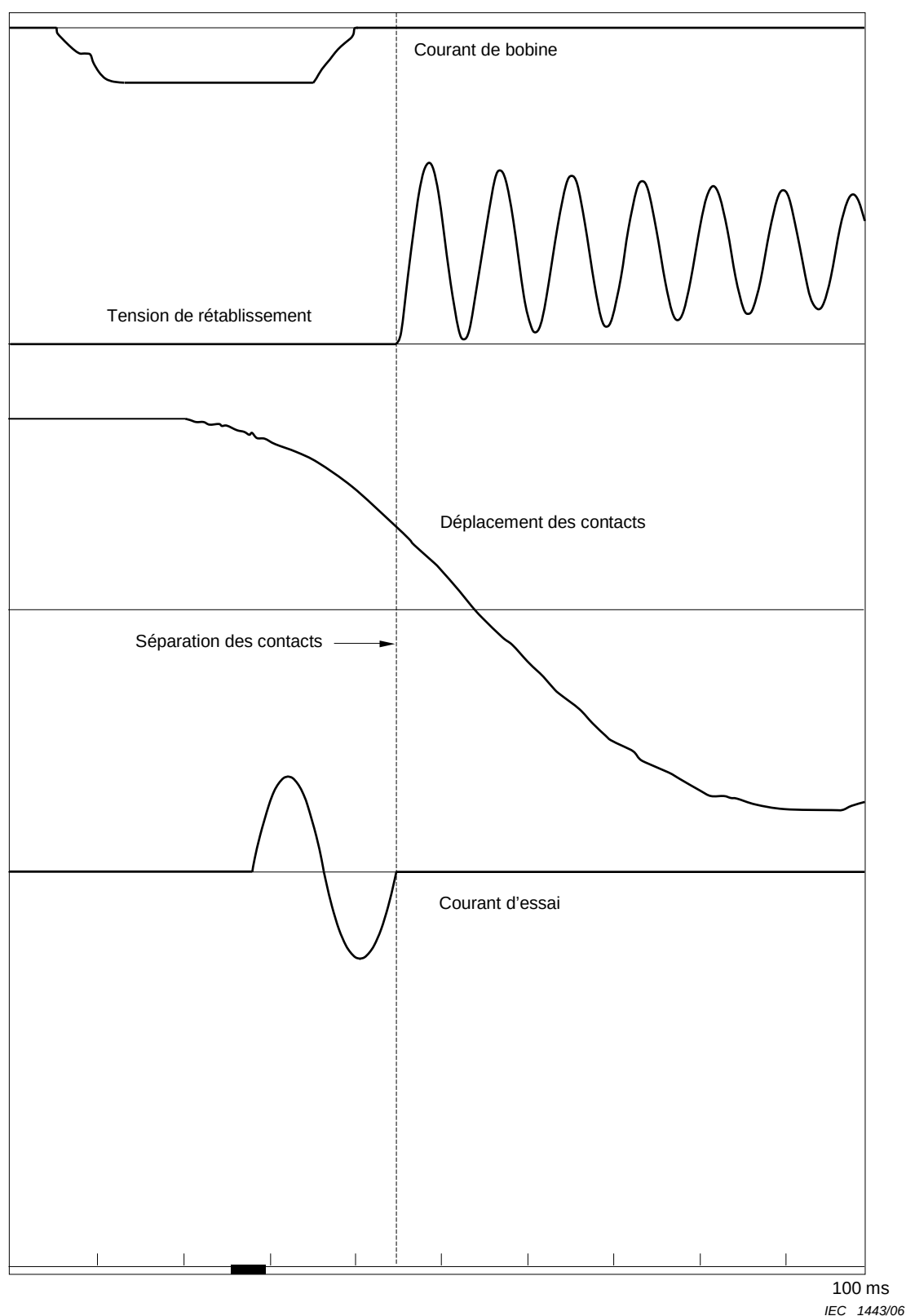
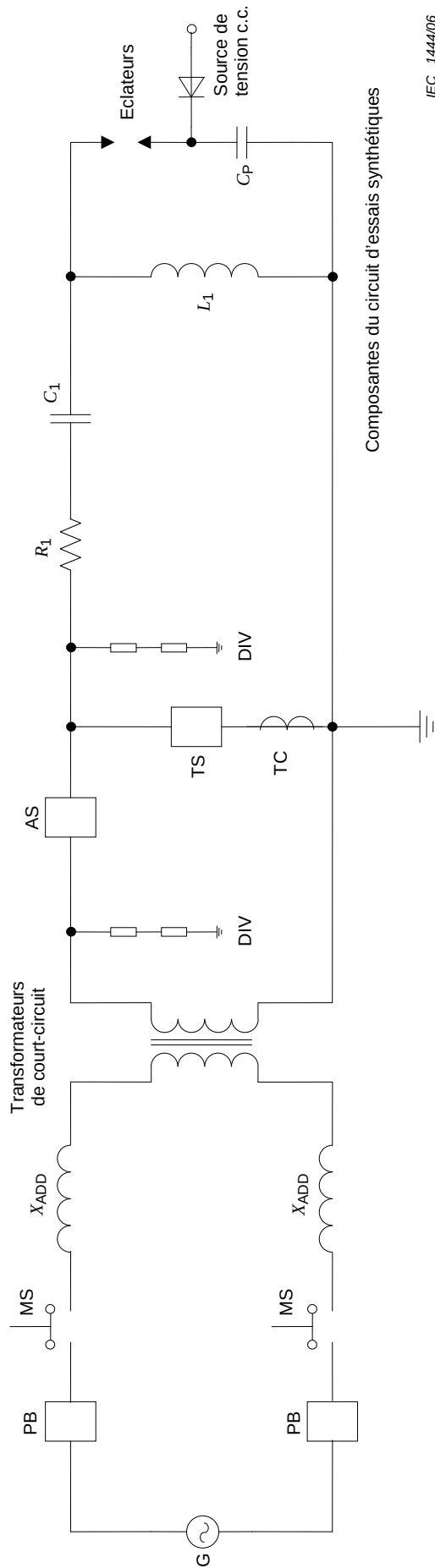


Figure 15 – Oscillogramme obtenu avec le circuit d'essai LC typique pour la séquence d'essai de courant d'insertion



Légende

G	alternateur de court-circuit délivrant le courant à la fréquence industrielle
PB	disjoncteurs de protection (secours)
MS	enclencheurs
X_{ADD}	réactances ajoutées pour régler le courant d'essai à la valeur requise du courant d'insertion
DIV	diviseur de tension
AS	interrupteur auxiliaire
TS	interrupteur de contournement en essai
TC	dispositif de mesure du courant
R_1, C_1, L_1, C_P	éléments de la source de tension (circuit synthétique)

Figure 16 – Circuit d'essai typique pour la séquence d'essai de courant d'insertion (principalement pour un courant d'insertion assigné élevé)

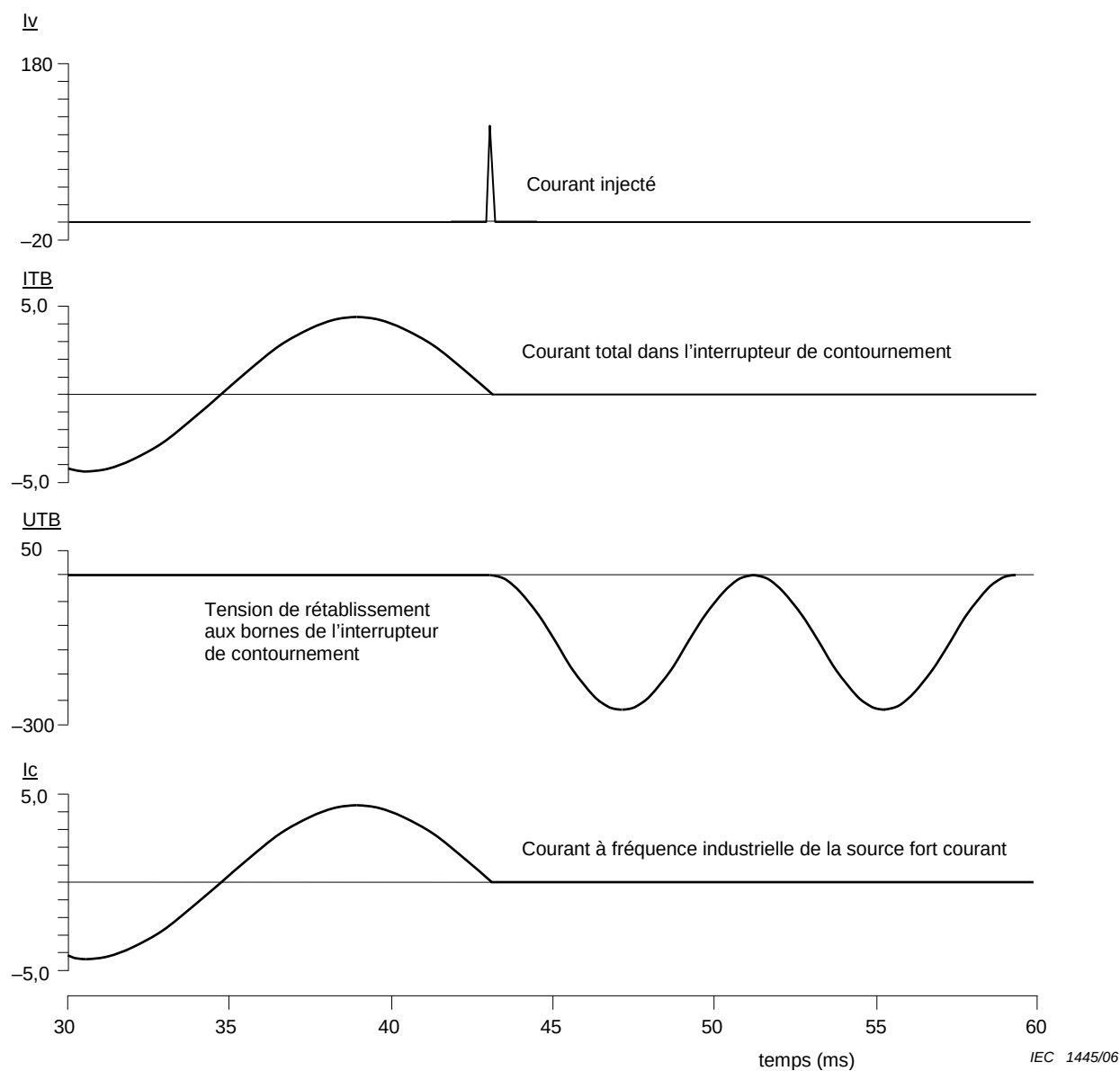
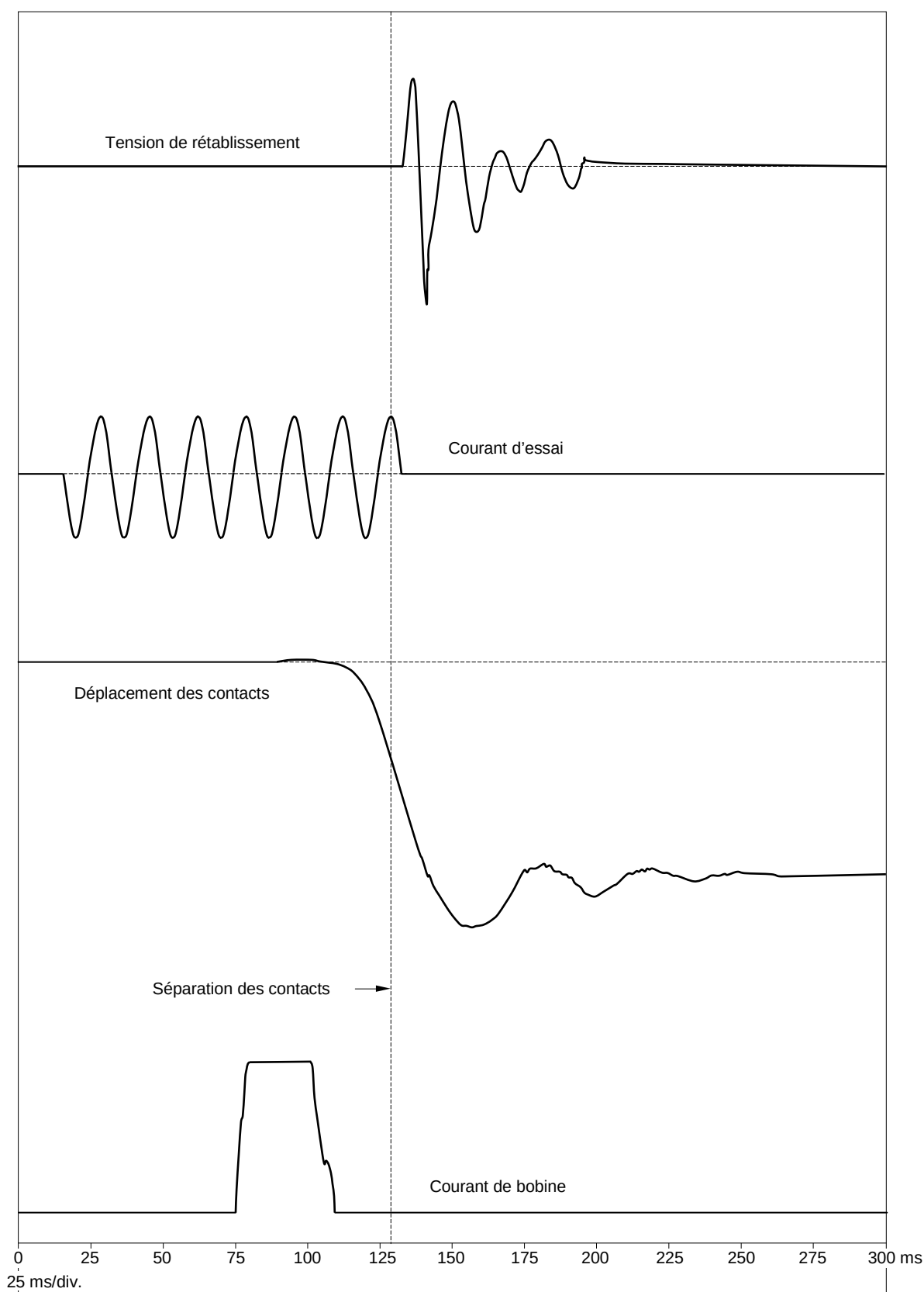


Figure 17 – Oscillogramme obtenu avec le circuit d'essai typique présenté à la Figure 16 pour la séquence d'essai de courant d'insertion



IEC 1447/06

Figure 19 – Oscillogramme obtenu avec le circuit d'essai direct typique pour la séquence d'essai de courant d'insertion

Annexe A (normative)

Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type

A.1 Types de tolérances

Durant les essais de type, les types de tolérances suivants peuvent être normalement distingués:

- les tolérances sur les paramètres d'essais qui déterminent directement les contraintes appliquées à l'objet soumis à l'essai;
- les tolérances sur les caractéristiques ou sur le comportement de l'objet soumis à l'essai avant et après un essai;
- les tolérances sur les conditions d'essais;
- les tolérances sur les paramètres des dispositifs de mesure qui seront utilisés.

Dans le Tableau A.1 ci-après, seules les tolérances sur les paramètres d'essais sont considérées.

Une tolérance est définie comme étant l'intervalle de la valeur d'essai spécifiée dans cette norme à l'intérieur duquel il convient que la valeur mesurée en essai se trouve pour que l'essai soit valable. Dans certains cas (voir 6.103 et le Tableau 5), l'essai peut rester valable même si la valeur mesurée est hors tolérance.

Tout écart dû à l'imprécision de la mesure sur la valeur mesurée durant l'essai par rapport à la valeur réelle n'est pas pris en considération.

Les règles de base pour l'application des tolérances sur les paramètres d'essais durant les essais de type sont les suivantes:

- a) les stations d'essais doivent tenter, dans la mesure du possible, d'obtenir les valeurs d'essais spécifiées;
- b) les tolérances spécifiées sur les paramètres d'essais doivent être respectées par les stations d'essais. Des contraintes plus élevées que celles données par les tolérances spécifiées peuvent être appliquées à l'interrupteur de contournement seulement avec le consentement du constructeur. Des contraintes moins élevées rendent l'essai invalide;
- c) lorsque cette norme, ou la norme applicable, ne donne aucune tolérance sur un paramètre d'essais, les essais de type doivent être réalisés à des valeurs pas moins sévères que celles spécifiées. La limite supérieure des contraintes est sujette au consentement du constructeur;
- d) si pour n'importe quel paramètre d'essais, seulement une limite est donnée, alors l'autre limite est considérée comme étant le plus près possible de la valeur spécifiée.

Tableau A.1 – Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type

Para- graphe	Désignation de l'essai	Paramètre d'essai	Valeur d'essai spécifiée	Tolérance d'essais/limites des valeurs d'essais	Référence à
6.2	Essais diélectriques				
6.2.6.1 et 6.2.7.1	Essais de tension à fréquence industrielle	Tension d'essai (valeur efficace)	Tension assignée de tenue de courte durée à fréquence industrielle	± 1 %	CEI 62271-1, CEI 60060
		Fréquence	--	45 Hz à 65 Hz	
		Forme d'onde	Valeur de crête/valeur efficace = $\sqrt{2}$	± 5 %	CEI 60060
6.2.6.2 et 6.2.7.3	Essais de tension de choc de foudre	Valeur de crête	Tension de tenue assignée aux chocs de foudre	± 3 %	
		Durée du front	1,2 µs	± 30 %	
		Durée jusqu'à la mi-valeur	50 µs	± 20 %	
6.2.7.2	Essais à la tension de choc de manœuvre	Valeur de crête	Tension de tenue assignée aux chocs de manœuvre	± 3 %	
		Durée jusqu'à la crête	250 µs	± 20 %	
		Durée jusqu'à la mi-valeur	2 500 µs	± 60 %	
6.2.11	Essais de tension pour vérification de l'état utilisant une onde de surtension de manœuvre normale				CEI 60060
		Valeur de crête de la surtension de manœuvre	Voir 6.2.11	± 3 %	
		Durée jusqu'à la crête	250 µs	± 20 %	
	Utilisation d'un circuit de TTR de T10	Durée jusqu'à la mi-valeur	2 500 µs	± 60 %	
		Valeur de crête de la surtension de manœuvre	Voir 6.2.11	± 3 %	
6.3	Essais de tension de perturbation radioélectrique	Durée jusqu'à la crête	Valeur normalisée pour T10 (voir Tableau 26 et 27 de la CEI 62271-100)	+200 % -10	CEI 60060
		Tension d'essai	Voir 6.3 de la CEI 62271-1	± 1 %	
6.4	Mesurage de la résistance du circuit principal	Courant d'essais c.c., I_{DC}	--	50 A ≤ I_{DC} ≤ courant assigné en service continu	CEI 62271-1

Tableau A.1 (suite)

Para- graphe	Désignation de l'essai	Paramètre d'essai	Valeur d'essai spécifiée	Tolérance d'essais/limites des valeurs d'essais	Référence à
6.5	Essais d'échauffement	Vitesse de l'air ambiant	--	≤0,5 m/s	CEI 62271-1
		Fréquence du courant d'essai	Fréquence assignée	+2 % –5 %	
		Courant d'essai	Courant assigné en service continu	+2 % 0	
				Ces limites doivent être observées seulement durant les deux dernières heures d'essai	
6.6	Essais au courant de courte durée et à la valeur de crête du courant admissible	Température de l'air ambiant T	--	+10 °C < T < 40 °C	CEI 62271-1
		Fréquence d'essai	Fréquence assignée	±10 %	
		Courant crête (dans une des phases extérieures)	Valeur de crête du courant admissible assigné	+5 % 0	
		Moyenne de la composante c.a. du courant lors d'un essai en triphasé	Courant de courte durée admissible assigné	±5 %	
		Composante c.a. du courant d'essai dans n'importe quelle phase/valeur moyenne	1	±10 %	
		Durée du courant de court-circuit	Durée de court-circuit assignée	Voir tolérances pour I^2t	
		Valeur de I^2t	Valeur I^2t assignée	+10 % 0	
6.101.3	Essais à haute et à basse températures	Variation de la température de l'air ambiant le long de la hauteur de l'objet d'essais	--	≤5 K	
		Température de l'air ambiant pour l'enregistrement des caractéristiques avant l'essai	20 °C	± 5 K	
		Températures maximales et minimales de l'air ambiant durant les essais	Selon la classe de l'interrupteur de contournement (voir CEI 62271-1)	± 3 K	
		Température maximale pour un cycle	40 °C	± 2 K	
6.101.6	Guide pour l'essai avec efforts statiques sur les bornes	Forces	Tel que spécifié en 6.101.6	+10 % 0	

Tableau A.1 (suite)

Para- graphe	Désignation de l'essai	Paramètre d'essai	Valeur d'essai spécifiée	Tolérance d'essais/limites des valeurs d'essais	Référence à
6.104	Séquence d'essai d'établissement du courant de contournement	Tension appliquée avant l'établissement	U_{PL}	+5 % 0	6.104.3
		Courant assigné de contournement	I_{BP}	+5 % 0	6.104.4
		Courant de décharge de la batterie de condensateur	$I_{DÉCHARGE}$	+5 % 0	6.104.4
		Fréquence du courant assigné de contournement	f_{BP}	Le plus près possible de la valeur demandée. Ne doit pas être inférieur à 77 % des conditions de service et pas plus élevée que 6 000 Hz	6.104.4
		Amortissement du courant assigné de contournement	I_2 / I_1	Égal ou supérieur aux conditions en service	6.104.2
6.105	Séquence d'essais du courant d'insertion	Courant d'essai à fréquence industrielle	I_{INS}	±20 %	6.105.4
		Fréquence du courant d'essai	De 49 Hz à 61 Hz		6.105.1
		Tension transitoire de rétablissement, valeur de crête	U_{PL}	0 %, +5 %	6.105.3
		Durée jusqu'à la crête de la tension transitoire de rétablissement	Valeur spécifiée	±5 %	6.105.1
		Amplitude du saut de tension initial de la forme d'onde "1-cos"		≤ 5 % de la crête de la tension transitoire de rétablissement	6.105.2
		Valeur efficace du courant/valeur efficace du courant à la fréquence fondamentale	≤ 1,2		6.105.3
		Forme d'onde de la tension de rétablissement	Déviaton instantanée maximale sur l'onde de tension théorique de la courbe "1-cos" correspondante à l'exception du saut de tension initial	+3 -0 % de la crête de la tension de rétablissement u_c	6.105.1

Annexe B (normative)

Enregistrement et comptes rendus des essais de type

B.1 Renseignements et résultats à enregistrer

Toutes les informations utiles et résultats concernant les essais de type doivent être contenus dans le compte rendu d'essais de type.

Des enregistrements oscillographiques, conformément aux exigences de B.2, doivent être réalisés pour toutes les manœuvres d'établissement du courant de contournement, de courant d'insertion et les manœuvres à vide et doivent être incluses dans le compte rendu d'essais de type.

Le compte rendu d'essais de type doit inclure une déclaration relative à l'incertitude des systèmes de mesure utilisés pour les essais. Cette déclaration doit se référer aux procédures internes du laboratoire avec lesquelles le suivi de l'incertitude de mesure est effectué.

Le compte rendu d'essais de type doit inclure une déclaration relative à la performance de l'interrupteur de contournement pendant les séquences d'essai et de l'état de l'interrupteur de contournement à la fin des séries de séquences d'essais. Cette déclaration doit comprendre les points suivants:

- a) état de l'interrupteur de contournement donnant le détail de tous les remplacements et réglages faits, ainsi que l'état des contacts, des dispositifs de contrôle de l'arc, de l'huile (y compris la quantité éventuellement perdue) et l'indication de toute détérioration aux écrans de protection de l'arc, enveloppes, supports isolants et traversées;
- b) description du fonctionnement durant les séquences d'essais, y compris les observations concernant l'émission d'huile, de gaz ou de flammes.

B.2 Informations à inclure dans les rapports d'essais

B.2.1 Généralités

- a) date des essais;
- b) référence au numéro du compte rendu;
- c) numéros des essais;
- d) numéros des oscillogrammes.

B.2.2 Appareil soumis aux essais

Le paragraphe 6.1.3 de la CEI 62271-1 est applicable.

Les numéros des dessins de référence donnés dans le rapport d'essai doivent indiquer le numéro de référence du constructeur, l'indice de révision et le contenu correspondant.

La caractéristique de déplacement mécanique de référence, si applicable, doit être incluse, ou on doit y faire référence dans le rapport d'essai par l'utilisation d'un numéro de dessin ou d'une manière équivalente.

B.2.3 Caractéristiques assignées de l'interrupteur de contournement, incluant celles des mécanismes d'entraînement et des équipements auxiliaires

Les valeurs des caractéristiques assignées spécifiées à l'Article 4 doivent être données par le constructeur.

B.2.4 Conditions de l'essai (pour chaque série d'essais; si applicable)

- a) nombre de pôles;
- b) facteur de puissance;
- c) fréquence, en Hz;
- d) neutre de l'alternateur (mis à la terre ou isolé);
- e) neutre du transformateur (mis à la terre ou isolé);
- f) schéma du circuit d'essais y compris la ou les liaisons à la terre;
- g) détails des raccordements de l'interrupteur de contournement au circuit d'essais (par exemple orientation);
- h) pression du fluide pour l'isolation et/ou le contournement et l'insertion;
- i) pression du fluide pour la manœuvre.

B.2.5 Essai au courant de courte durée et à la valeur de crête du courant admissible

- a) courant
 - 1) valeur efficace, en kA;
 - 2) valeur de crête, en kA;
- b) durée, en s;
- c) comportement de l'interrupteur de contournement pendant les essais;
- d) état après les essais;
- e) résistance du circuit principal avant et après les essais, en $\mu\Omega$.

B.2.6 Manœuvre à vide

- a) avant chaque série d'essais de contournement et d'insertion (voir 6.102.6);
- b) après la dernière série d'essais d'insertion (voir 6.102.9.2);
- c) avant et après l'essai au courant de courte durée et à la valeur de crête du courant admissible.

B.2.7 Séquence d'essai d'établissement du courant de contournement

- a) tension appliquée, en kV;
- b) courant d'établissement de crête, en kA;
- c) fréquence du courant de contournement, en Hz;
- d) taux d'amortissement;
- e) durée de fermeture, en ms;
- f) durée de préarc, en ms;
- g) durée de contournement, en ms;
- h) comportement de l'interrupteur de contournement pendant les essais;
- i) état après les essais.

B.2.8 Séquence d'essais de courant d'insertion

- a) courant coupé, en A;
- b) tension transitoire de rétablissement, valeur de crête, en kV;
- c) durée jusqu'à la tension transitoire de rétablissement, valeur de crête, en ms;
- d) détails concernant le réglage du déclenchement synchrone;
- e) durée d'arc, en ms;
- f) nombre de réamorçages (s'il y en a), l'occurrence de NSDDs (s'il y en a eu) doit être noté pour les interrupteurs de contournement et d'insertion utilisant des ampoules à vide;
- g) comportement de l'interrupteur de contournement pendant les essais;
- h) état après les essais.

B.2.9 Relevés oscillographiques et autres enregistrements

Les oscillogrammes doivent représenter la totalité des manœuvres. Les grandeurs suivantes doivent être enregistrées. Certaines de ces grandeurs peuvent être enregistrées séparément des oscillographes et plusieurs oscillographes utilisant différentes échelles de temps peuvent être nécessaires:

- a) tension appliquée;
- b) courant dans chaque pôle;
- c) tension de rétablissement (tension aux bornes de l'interrupteur de contournement);
- d) courant dans la bobine de fermeture;
- e) courant dans la bobine d'ouverture;
- f) échelles d'amplitude et de temps appropriées pour la précision demandée;
- g) caractéristiques de déplacement mécanique (si applicable).

Tous les cas pour lesquels les exigences de cette norme ne sont pas strictement respectées et toutes les dérogations doivent être explicitement mentionnés au début du compte rendu d'essais.

Annexe C (informative)

Liste des symboles et des abréviations utilisés

Symbole/ abréviation	Référence à titre d'exemple	Signification
A, a	Tableau 6	Désignation d'une borne d'un interrupteur de contournement
A	6.101.6.2	Direction d'un effort horizontal
A ₁	Figure 6	Direction d'un effort horizontal
A ₂	Figure 6	Direction d'un effort horizontal
B, b	Tableau 6	Désignation d'une borne d'un interrupteur de contournement
B ₁	6.101.6.2	Direction d'un effort horizontal
B ₂	6.101.6.2	Direction d'un effort horizontal
β	Annexe F	Amortissement de l'oscillation entre la capacité de la batterie de condensateurs série et l'inductance de ligne
C, c	Tableau 6	Désignation d'une borne d'un interrupteur de contournement
C	4.101	Manœuvre de fermeture
C ₁	6.101.6.2	Direction d'un effort vertical
C ₂	6.101.6.2	Direction d'un effort vertical
C – t – OC	4.101	Cycle de manœuvre de fermeture-ouverture-fermeture
C _N	3.8.3	Capacité assignée
F	Tableau 6	Désignation du châssis d'un interrupteur de contournement
f_{BP}	4.102	Fréquence du courant assigné de contournement
f_r	4.3	Fréquence assignée
F_{shA}	6.101.6.1	Effort sur les bornes, effort horizontal
F_{shB}	6.101.6.1	Effort sur les bornes, effort horizontal
F_{sv}	6.101.6.1	Effort sur les bornes, effort vertical
F_{th}	Tableau 4	Effort statique horizontal
F_{thA}	Tableau 4	Effort statique horizontal, longitudinal
F_{thB}	Tableau 4	Effort statique horizontal, transversal
F_{wh}	Figure 5	Force due au vent et à la couche de glace
F_{tv}	Tableau 4	Effort statique vertical
I_1	Tableau A.1	Première crête de courant pendant la séquence d'essai d'établissement du courant de contournement
I_2	Tableau A.1	Deuxième crête de courant (de la même polarité que I_1) pendant la séquence d'essai d'établissement du courant de contournement
I_{BP}	4.102	Courant assigné de contournement
$I_{DÉCHARGE}$	3.8.28	Courant de décharge de la batterie de condensateurs
I_{INS}	4.103	Courant assigné d'insertion
I_k	4.5	Courant de courte durée admissible assigné
I_{load}	Annexe F	Courant d'insertion réel
I_N	3.8.4	Courant assigné d'un condensateur
I_p	4.6	Valeur de crête du courant admissible assigné
I_r	4.4	Courant assigné en service continu
k	Annexe F	Facteur de compensation X_C/X_L

Liste des symboles et des abréviations utilisés (suite)

M	Tableau 1	Masse de l'interrupteur de contournement
m	Tableau 1	Masse de fluide pour le contournement et l'insertion
$M1$	3.4.104	Classe d'interrupteur de contournement avec une endurance mécanique de base
$M2$	3.4.105	Classe d'interrupteur de contournement avec une endurance mécanique accrue
O	Tableau 3	Manœuvre d'ouverture
OC	4.101	Cycle de manœuvres d'ouverture-fermeture
p_{re}	Tableau 1	Pression assignée pour le contournement et l'insertion
p_{rm}	Tableau 1	Pression assignée pour la manœuvre
$T10$	6.2.11	Séquence d'essai de défaut aux bornes (voir la CEI 62271-100)
t	4.101	Intervalle de temps dans la séquence de manœuvre assignée
t'	4.101	Intervalle de temps dans la séquence de manœuvre assignée
t_3	6.2.11	Coordonnées de temps de TTR T10
T_A	6.101.3.3	Température de l'air ambiant
t_a	6.101.2.3	Durée entre 2 manœuvres pour les essais de manœuvre mécanique à température ambiante
T_H	6.101.3.4	Température maximale de l'air ambiant
t_k	4.7	Durée assignée de court-circuit
T_L	6.101.3.3	Température minimale de l'air ambiant
TTR	6.2.11	Tension transitoire de rétablissement
t_x	6.101.3.3	Intervalle de temps pour l'essai à basse température
$u(t)$	Annexe F	Tension transitoire de rétablissement aux bornes de l'interrupteur de contournement
U_a	4.8	Tension d'alimentation assignée des circuits auxiliaires et de commande
U_{INS}	4.104	Tension de réinsertion assignée
U_{LIM}	3.8.7	Tension de limite
U_{op}	Tableau 1	Tension d'alimentation assignée des dispositifs de manœuvre
U_N	3.8.6	Tension assignée d'un condensateur
U_{pe}	Tableau 1	Tension de tenue assignée aux chocs de foudre par rapport à la terre
U_{PL}	3.8.22	Niveau de protection
U_{pp}	Tableau 1	Tension de tenue assignée aux chocs de foudre entre les bornes de l'interrupteur de contournement
U_r	4.1	Tension assignée
U_{re}	4.1.101	Tension assignée par rapport à la terre
U_{rp}	4.1.102	Tension assignée entre les bornes de l'interrupteur de contournement
U_{se}	Tableau 1	Tension de tenue assignée aux chocs de manœuvre par rapport à la terre
U_{sp}	Tableau 1	Tension de tenue assignée aux chocs de manœuvre entre les bornes de l'interrupteur de contournement
X_N	4.1.102	Réactance assignée du condensateur série
ω_1	Annexe F	Fréquence angulaire dérivée de la fréquence industrielle assignée
ω_2	Annexe F	Fréquence angulaire de la sous-harmonique provoquée par l'oscillation entre la capacité de la batterie de condensateurs série et l'inductance de ligne

Annexe D (informative)

Exemples de caractéristiques d'un interrupteur de contournement

Les Tableaux D.1 à D.3 illustrent les caractéristiques typiques d'installations de batteries de condensateurs série utilisées dans des projets récents. Ces tableaux indiquent également les caractéristiques assignées de l'interrupteur de contournement correspondant. Il convient d'utiliser ces valeurs comme guide pour spécifier des valeurs assignées aux interrupteurs de contournement, car les caractéristiques spécifiques ne peuvent pas être normalisées en raison du fait qu'elles sont spécifiques à chacun des projets. Il convient de noter que certains niveaux d'isolement indiqués ont été spécifiés selon les normes IEEE et sont donnés seulement à titre d'exemples. Les valeurs données dans ces tableaux correspondent à la même nomenclature et abréviations des diverses valeurs assignés décrites à l'Article 4.

Tableau D.1 – Caractéristiques typiques d'un interrupteur de contournement pour batterie de condensateurs série – Cas 1 à 6

Caractéristiques assignées	Unité	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5	Cas 6
Tension assignée à la terre U_{Te}	kV eff.	500	500	500	500	500	500
Tension maximale du réseau	kV eff.	560	560	560	560	560	560
Tension assignée de la batterie de condensateurs U_N	kV eff.	101,3	63,9	63,5	70,4	69,9	94,8
Tension de surcharge	kV eff.	136,8	86,3	81,3	87,3	86,7	117,5
Niveau de protection U_{PL}	kV crête	310,9	225,9	195,7	204	197,7	268,1
Fréquence assignée f_r	Hz	60	60	60	60	60	60
Courant assigné en service continu I_r	A eff.	4 000	4 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Courant assigné 30 min	A eff.	5 400	5 400	4 050	4 050	4 050	4 050
Oscillation de courant (max. 30 s)	A eff.						
Niveaux d'isolation à la terre							
- Tension assignée de tenue aux chocs de foudre, U_{pe}	kV eff.	710	710	710	710	860	860
- Tenue en tension assignée à fréquence industrielle, à sec, 1 min, U_{de}	kV eff.						
- Tenue en tension assignée à fréquence industrielle, sous pluie, 10 s, U_{de}	kV crête	1 050	1 050	1 050	1 050	1 175	1 175
- Tension assignée de tenue aux chocs de manœuvre, U_{se}	kV crête	1 550	1 550	1 550	1 550	1 800	1 800
Niveaux d'isolation entre bornes							
- Tenue en tension assignée à fréquence industrielle, à sec, 1 min, U_{dp}	kV eff.	425	260	310	310	310	365
- Tenue en tension assignée à fréquence industrielle, sous pluie, 10 s, U_{dp}	kV eff.	350	230	275	275	275	315
- Tension assignée de tenue aux chocs de foudre, U_{pp}	kV crête	900	550	650	650	650	750
Tenue au courant de courte durée							
- Courant assigné de courte durée admissible I_k	kA eff.	63	40	40	40	40	40
- Durée de court-circuit assignée t_k	s	3	3	3	3	3	3
- Valeur de crête assignée du courant admissible I_p	kA crête	164	128	128	128	128	128
Séquence de manœuvres assignée		O-C-t-OC-t-O- O-t'-C-t-OC	C-t-OC-t-O- t'-C-t-OC	C-t-OC-t-O- t'-C-t-OC	C-t-OC-t-O- t'-C-t-OC	C-t-OC-t-O- t'-C-t-OC	C-t-OC-t-O- t'-C-t-OC
- t	s	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
- t'	s	30	30	30	30	30	30
Durée de fermeture maximale	ms	34	34	34	34	34	34
Durée d'ouverture maximale	ms	50	50	50	50	50	50

Tableau D.1 (suite)

Caractéristiques assignées	Unité	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5	Cas 6
Courant d'insertion							
- Courant d'insertion assigné I_{INS}	A eff.	5 400	4 050	3 240	3 240	3 240	4 250
- Tension assignée de réinsertion U_{INS}	kV crête	310,9	225,9	195,7	204	197,7	268,1
- Tension de réinsertion, temps à la première crête	ms	8	8	8	8	8	8
Établissement du courant de contournement en condition normale d'opération							
- Composante du courant de décharge de la batterie de condensateurs $I_{\text{DÉCHARGE}}$	kA crête	37	28	21	23	23	25
- Courant à fréquence industrielle	kA crête	5,7	4,5	4,2	4,1	4,0	4,0
- Courant de contournement	kA crête	42,7	32,5	25,2	27,1	27,0	29,0
- Fréquence du courant de contournement f_{BP}	Hz	385,2	509,4	408,1	470,5	471,2	530,2
- Tension appliquée	kV crête	143,3	90,4	89,8	99,6	98,9	134,1
Établissement du courant de contournement en condition de faute							
- Composante du courant de décharge de la batterie de condensateurs $I_{\text{DÉCHARGE}}$	kA crête	80	71	52	56	57	67
- Courant de défaut à fréquence industrielle	kA crête	65	34	27	21	24	24
- Courant de contournement	kA crête	139	105	79	77	81	91
- Fréquence du courant de contournement f_{BP}	Hz	385,2	509,4	408,1	470,5	471,2	530,2
- Tension appliquée	kV crête	310,9	225,9	195,7	204	197,7	268,1
- Facteur d'amortissement							
Endurance mécanique et électrique spécifiée							
- Manœuvres à vide	CO						
- Nombre d'opérations/année au courant nominal	CO	20	20	20	20	20	20
- Nombre d'opérations/année en condition de faute	CO	1	1	1	1	1	1
- Manœuvres sous condition de faute (vie utile)	CO						

Tableau D.2 – Caractéristiques typiques d'un interrupteur de contournement pour batterie de condensateurs série – Cas 7 à 12

Caractéristiques assignées	Unité	Cas 7	Cas 8	Cas 9	Cas 10	Cas 11	Cas 12
Tension assignée à la terre U_{re}	kV eff.	500	500	735	245	345	345
Tension maximale du réseau	kV eff.	550	550	800	245	362	362
Tension assignée de la batterie de condensateurs U_N	kV eff.	19,9	19,9	80	46	42,6	55,6
Tension de surcharge	kV eff.	29,9	29,9	140	68/105		
Niveau de protection U_{PL}	kV crête	81,6	81,6	270	148	144,4	188,6
Fréquence assignée f_r	Hz	60	60	60	60	60	60
Courant assigné en service continu I_r	A eff.	3 150	3 150	4 000	630	2 000	2 000
Courant assignée 30 min	A eff.			6 000	945		
Oscillation de courant (max. 30 s)	A eff.			7 000	1 103	2 700	2 700
Niveaux d'isolation à la terre							
- Tension assignée de tenue aux chocs de foudre, U_{pe}	kV eff.	650	650	830	450	710	710
- Tenue en tension assignée à fréquence industrielle, à sec, 1 min, U_{de}	kV eff.						
- Tenue en tension assignée à fréquence industrielle, sous pluie, 10 s, U_{de}	kV crête	1 550	1 550	1 550	850	1 550	1 550
- Tension assignée de tenue aux chocs de manœuvre, U_{se}	kV crête	1 175	1 175	2 100	1 175	1 050	1 050
Niveaux d'isolation entre bornes							
- Tenue en tension assignée à fréquence industrielle, à sec, 1 min, U_{dp}	kV eff.	110	110	230	140	145	185
- Tenue en tension assignée à fréquence industrielle, sous pluie, 10 s, U_{dp}	kV eff.	69,3	69,3		185 (1s)		
- Tension assignée de tenue aux chocs de foudre, U_{pp}	kV crête	200	200	550	325	350	450
Tenue au courant de courte durée							
- Courant assigné de courte durée admissible I_k	kA eff.	40	40	40	25	40	40
- Durée de court-circuit assignée t_k	s	1	1	1	1	1	1
- Valeur de crête assignée du courant admissible I_p	kA crête	128	128	108	65		
Séquence de manœuvres assignée		O-C-t-OC-t-O-t'-C-t-OC	C-t-OC-t'-O-t'-C-t-OC	C-t-OC-t'-OC	C-t-OC-t'-OC	C-O-C-t'-O-C	C-O-C-t'-O-C
- t	s	0,3	0,3	0,3	0,3		
- t'	s	30	30	15	15	30	30
Durée de fermeture maximale	ms	34	34	100	50	30	30
Durée d'ouverture maximale	ms						

Tableau D.2 (suite)

Caractéristiques assignées	Unité	Cas 7	Cas 8	Cas 9	Cas 10	Cas 11	Cas 12
Courant d'insertion							
- Courant d'insertion assigné I_{INS}	A eff.	4 800	4 800	4 000	400	3 000	3 000
- Tension assignée de réinsertion U_{INS}	kV crête	81,6	81,6	270	148		
- Tension de réinsertion, temps à la première crête	ms	4	4	4	4		
Établissement du courant de contournement en condition normale d'opération							
- Courant de décharge de la batterie de condensateurs $I_{DÉCHARGE}$	kA crête	18,3	18,3	30	23	37	37
- Courant à fréquence industrielle	kA crête			4	0,6		
- Courant de contournement	kA crête			34	24	37	37
- Fréquence du courant de contournement f_{BP}	Hz	708	744	1 000	840	900	900
- Tension appliquée	kV crête	28,1	28,1	115	65,1	60,2	78,6
Établissement du courant de contournement en condition de faute							
- Courant de décharge de la batterie de condensateurs $I_{DÉCHARGE}$	kA crête	75	75	70	52	85	85
- Courant de défaut à fréquence industrielle	kA crête	65	65	5,6	8	15	15
- Courant de contournement	kA crête	140	140	75,6	60	100	100
- Fréquence du courant de contournement f_{BP}	Hz	708	744	1 000	840	900	900
- Tension appliquée	kV crête	81,6	81,6	270	148	144,4	188,6
- Facteur d'amortissement				0,5	0,5		
Endurance mécanique et électrique spécifiée							
- Manœuvres à vide	CO			2 000	2 000		
- Nombre d'opérations/année au courant nominal	CO	5	5	15	20		
- Nombre d'opérations/année en condition de faute	CO			5	10		
- Manœuvres sous condition de faute (vie utile)	CO	1	1	150	300		

Tableau D.3 – Caractéristiques typiques d'un interrupteur de contournement pour batterie de condensateurs série – Cas 13 à 18

Caractéristiques assignées	Unité	Cas 13	Cas 14	Cas 15	Cas 16	Cas 17	Cas 18
Tension assignée à la terre U_{re}	kV eff.	500	500	400	400	500	500
Tension maximale du réseau	kV eff.	550	550	460	460	550	550
Tension assignée de la batterie de condensateurs U_N	kV eff.	65,4		33,8	33,8	61,7	170
Tension de surcharge	kV eff.			45,6	45,6		
Niveau de protection U_{PL}	kV crête	212,7		110	110	200,6	383
Fréquence assignée f_r	Hz	60	50	60	60	50	60
Courant assigné en service continu I_r	A eff.	3 000	3 150	2 000	2 000	2 500	3 000
Courant assigné 30 min	A eff.	4 500					
Oscillation de courant (max. 30 s)	A eff.	5 700					
Niveaux d'isolation à la terre							
- Tension assignée de tenue aux chocs de foudre, U_{pe}	kV eff.	710		860	860	680	860
- Tenue en tension assignée à fréquence industrielle, à sec, 1 min, U_{de}	kV eff.						775
- Tenue en tension assignée à fréquence industrielle, sous pluie, 10 s, U_{de}	kV crête	1 800	1500	1 550	1 550	1 550	1 550
- Tension assignée de tenue aux chocs de manœuvre, U_{se}	kV crête					1 175	1 175
Niveaux d'isolation entre bornes							
- Tenue en tension assignée à fréquence industrielle, à sec, 1 min, U_{dp}	kV eff.	185					325
- Tenue en tension assignée à fréquence industrielle, sous pluie, 10 s, U_{dp}	kV eff.						
- Tension assignée de tenue aux chocs de foudre, U_{pp}	kV crête	450					750
Tenue au courant de courte durée							
- Courant assigné de courte durée admissible I_k	kA eff.	40	50	40	40	50	40
- Durée de court-circuit assignée t_k	s	1	3	3	3	3	1
- Valeur de crête du courant admissible I_p	kA crête		125	100	100	125	108
Séquence de manœuvres assignée		(O)-C-O-C	C-O-C- t' -O-C	O- t -CO- t' -CO	O- t -CO- t' -CO	C-O-C- t' -O-C	C-O-C- t' -O-C
- t	s			0,3	0,3		
- t'	s		30	30	30	30	30
Durée de fermeture maximale	ms	< 35	< 50	36	36		< 50
Durée d'ouverture maximale	ms		< 50				< 50

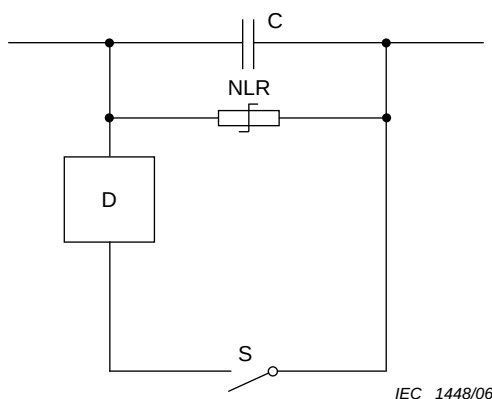
Tableau D.3 (suite)

Caractéristiques assignées	Unité	Cas 13	Cas 14	Cas 15	Cas 16	Cas 17	Cas 18
Courant d'insertion							
- Courant d'insertion assigné I_{INS}	A eff.	4 500	3 150			3 600	3 650
- Tension assignée de réinsertion U_{INS}	kV crête					200,6	383
- Tension de réinsertion, temps à la première crête	ms					6,7	8,3
Établissement du courant de contournement en condition normale d'opération							
- Composante du courant de décharge de la batterie de condensateurs $I_{DÉCHARGE}$	kA crête	40				52,8	
- Courant à fréquence industrielle	kA crête	15					
- Courant de contournement	kA crête	55				52,8	
- Fréquence du courant de contournement f_{BP}	Hz	430				620	680
- Tension appliquée	kV crête	92,5				123,3	240,4
Établissement du courant de contournement en condition de faute							
- Courant de décharge de la batterie de condensateurs $I_{DÉCHARGE}$	kA crête	70		68	68	80,9	91
- Courant de défaut à fréquence industrielle	kA crête	30		40	40	24,7	
- Courant de contournement	kA crête	100		108	108	105,6	108
- Fréquence du courant de contournement f_{BP}	Hz	430		1 048	1 048	620	680
- Tension appliquée	kV crête	150,4		110	110	200,6	383
- Facteur d'amortissement						0,3	
Endurance mécanique et électrique spécifiée							
- Manœuvres à vide	CO		5 000			6 000	
- Nombre d'opérations/année au courant nominal	CO						
- Nombre d'opérations/année en condition de faute	CO						
- Manœuvres sous condition de faute (vie utile)	CO						

Annexe E (~~informative~~ normative)

Interrupteurs de contournement utilisés comme dispositifs de contournement primaires

Les interrupteurs de contournement sont parfois utilisés comme protection primaire du dispositif de protection contre les surtensions de la batterie de condensateurs série (c'est-à-dire sans utiliser un dispositif de contournement rapide tel qu'un éclateur) pour les cas où le courant de défaut à la fréquence industrielle est relativement faible (batteries de condensateurs généralement situées au ~~centre de la longueur~~ milieu de la ligne) ou lorsque l'utilisation d'un éclateur pourrait donner lieu à un fonctionnement non fiable de ce dernier. Pour les installations de condensateurs série de ce type, la batterie de varistance est conçue pour absorber l'énergie résultante produite par un défaut de la ligne jusqu'à ce que l'interrupteur de contournement soit fermé. La Figure E.1 illustre l'implantation type des composants.



Légende

- C condensateur série
- D circuit d'amortissement (~~varistance~~)
- S interrupteur de contournement
- NLR résistance non linéaire

Figure E.1 – Implantation type des composants pour les interrupteurs de contournement utilisés comme dispositifs de contournement primaires

Pour cette application particulière, les exigences données dans cette norme s'appliquent également avec les compléments suivants:

~~Dans une configuration de ce type,~~ L'interrupteur de contournement sera soumis, pour tous les défauts de ligne, à la composante de courant de décharge de la batterie de condensateurs ($I_{\text{DÉCHARGE}}$) et au courant de défaut à la fréquence industrielle. Pour les installations employant des dispositifs de contournement rapides (par exemple des éclateurs), ce type de contraintes n'est pas fréquent car elles sont presque toujours supportées par le dispositif de contournement rapide et non par l'interrupteur de contournement.

~~Pour les applications de ce type et du fait de l'endurance électrique accrue, il peut s'avérer nécessaire de spécifier un nombre supérieur de manœuvres d'établissement pendant la séquence d'essai d'établissement du courant de contournement (voir 6.104). Il convient de déterminer le nombre de manœuvres en fonction du nombre prévu de défauts de ligne par an, de la durée de service requis avant une opération de maintenance et des paramètres électriques associés. Si une endurance accrue de ce type est requise, il convient de le mentionner clairement dans la demande.~~

Les paramètres d'essais, obtenus lors d'essais déjà réalisées d'établissement de courant de contournement, peuvent être utilisés comme suit pour qualifier un interrupteur de contournement pour cette application particulière:

- Un interrupteur de contournement a été soumis aux essais selon l'alternative 1 (voir 6.104.5) à un courant de contournement établi I_{BP} . Cet interrupteur de contournement peut être utilisé comme dispositif de contournement primaire dans une installation ayant un courant de contournement établi jusqu'à la valeur I_{BP} utilisée lors des essais.
- Un interrupteur de contournement a été soumis aux essais selon l'alternative 2 (voir 6.104.5) à un courant de contournement établi I_{BP} et un courant de décharge $I_{DÉCHARGE}$. Un courant équivalent I_{BPE} pour des applications sans varistance dérivé des paramètres d'essais est calculé comme suit:

$$(I_{BP})^2 \times 4 + (I_{DÉCHARGE})^2 \times 20 = (I_{BPE})^2 \times 20 \rightarrow I_{BPE} = \sqrt{\frac{(I_{BP})^2}{5} + (I_{DÉCHARGE})^2}$$

Exemple: Un interrupteur de contournement a été soumis aux essais selon l'alternative 2 (voir 6.104.5) à un courant de contournement de 120 kA et à un courant de décharge de 70 kA. Ces paramètres d'essais donnent un courant équivalent I_{BPE} pour des applications sans varistance de:

$$(120)^2 \times 4 + (70)^2 \times 20 = (I_{BPE})^2 \times 20 \rightarrow I_{BPE} = 88,2 \text{ kA.}$$

Cet interrupteur de contournement peut donc être utilisé comme dispositif de contournement primaire dans une installation ayant un courant de contournement établi jusqu'à une valeur de 88,2 kA.

Annexe F (informative)

Note explicative concernant la tension de rétablissement transitoire pendant la réinsertion

Lorsqu'un interrupteur de contournement réinsère une batterie de condensateurs série, la tension transitoire de réinsertion qui apparaît entre les bornes des contacts ouverts de l'interrupteur de contournement est fonction du courant de charge à la fréquence industrielle, y compris toute oscillation de puissance et courant de surcharge d'urgence s'il y a lieu, et du courant transitoire oscillatoire amorti produit par la résonance de l'impédance capacitive et de l'impédance de ligne. Cette tension transitoire entre les bornes de l'interrupteur de contournement peut être déterminée par l'équation suivante:

$$u(t) = U_N \times \sqrt{2} \times (\cos \omega_1 t - e^{-\beta t} \cos \omega_2 t) \times I_{\text{load}} / I_N$$

où

$u(t)$ est la tension transitoire de rétablissement aux bornes de l'interrupteur de contournement;

U_N est la tension assignée de la batterie de condensateurs série (valeur efficace);

ω_1 est la fréquence angulaire dérivée de la fréquence industrielle assignée;

t est le temps, en s;

β est l'amortissement de l'oscillation entre la capacité de la batterie de condensateurs série et l'inductance de ligne, généralement comprise entre 0,8 et 0,9;

ω_2 est la fréquence angulaire de la sous-harmonique provoquée par l'oscillation entre la capacité de la batterie de condensateurs série et l'inductance de ligne

$$\omega_2 = \omega_1 \times \sqrt{k}$$

et

$$k = \frac{X_C}{X_L}$$

k est le facteur de compensation;

I_{load} est le courant d'insertion réel de la batterie de condensateurs série (valeur efficace);

I_N est le courant assigné de la batterie de condensateurs série (valeur efficace).

X_C est la réactance capacitive en Ω de la batterie de condensateurs série ($X_C = 1/\omega_1 C$);

X_L est la réactance inductive en Ω de la ligne compensée série ($X_L = \omega_1 L$);

C est la capacité de la batterie de condensateurs série;

L est l'inductance de la ligne compensée série.

Dans la CEI 60143-1, les courants de surcharge d'urgence typiques qui se produisent sont compris entre 1,2 p.u. et 6 p.u. et les oscillations de puissance entre 1,7 p.u. et 2,5 p.u. Selon la CEI 60143-1, les facteurs de compensation typiques sont compris entre 0,2 p.u. et 0,8 p.u. et les niveaux de protection U_{PL} entre 2,0 p.u. et 2,5 p.u.

Les effets combinés de la fréquence de la sous-harmonique, du courant de charge, y compris les courants de surcharge d'urgence et d'oscillation de la puissance, et le niveau de fonctionnement (U_{PL}) du dispositif non linéaire de limitation de la tension (varistances) peuvent avoir pour effet que la première crête de tension transitoire de réinsertion entre les

bornes de l'interrupteur de contournement se produit plus tôt que la moitié de la période de la fréquence industrielle, c'est-à-dire 10 ms pour les réseaux à 50 Hz ou 8,3 ms pour les réseaux à 60 Hz.

Le niveau de protection en p.u. est défini comme étant $U_{PL} / (U_N / \sqrt{2})$ avec U_{PL} étant une valeur de crête et U_N une valeur efficace.

Par conséquent, la tension de réinsertion donnée en p.u. de la tension assignée de crête du condensateur est donnée par:

$$u(t) \text{ p.u.} = (\cos \omega_1 t - e^{-\beta t} \cos \omega_2 t) \times I_{\text{load}} / I_N$$

Les Tableaux F.1 à F.16 illustrent quelques exemples.

Tableau F.1 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance ni surcharge d'urgence
 $I_{\text{load}} = 1,0 \text{ p.u.}; U_{PL} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 50 \text{ Hz}$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	1,26	8,6	Non
0,3	1,00	8,2	Non
0,4	0,79	7,8	Non
0,5	0,61	7,5	Non
0,6	0,46	7,3	Non
0,7	0,32	7,1	Non
0,8	0,20	6,9	Non

Tableau F.2 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance, mais avec une surcharge d'urgence
 $I_{\text{load}} = 1,2 \text{ p.u.}; U_{PL} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 50 \text{ Hz}$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	1,51	8,6	Non
0,3	1,20	8,2	Non
0,4	0,95	7,8	Non
0,5	0,74	7,5	Non
0,6	0,55	7,3	Non
0,7	0,39	7,1	Non
0,8	0,25	6,9	Non

Tableau F.3 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance, mais avec une surcharge d'urgence

$$I_{\text{load}} = 1,4 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 50 \text{ Hz}$$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	1,76	8,6	Non
0,3	1,40	8,2	Non
0,4	1,11	7,8	Non
0,5	0,86	7,5	Non
0,6	0,64	7,3	Non
0,7	0,45	7,1	Non
0,8	0,29	6,9	Non

Tableau F.4 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance, mais avec une surcharge d'urgence

$$I_{\text{load}} = 1,6 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 50 \text{ Hz}$$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	2,01	8,6	Non
0,3	1,60	8,2	Non
0,4	1,27	7,8	Non
0,5	0,98	7,5	Non
0,6	0,73	7,3	Non
0,7	0,52	7,1	Non
0,8	0,33	6,9	Non

Tableau F.5 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance

$$I_{\text{load}} = 1,8 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 50 \text{ Hz}$$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	2,20	7,8	Oui
0,3	1,80	8,2	Non
0,4	1,43	7,8	Non
0,5	1,10	7,5	Non
0,6	0,83	7,3	Non
0,7	0,58	7,1	Non
0,8	0,37	6,9	Non

Tableau F.6 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance $I_{\text{load}} = 2,0 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 50 \text{ Hz}$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	2,20	6,7	Oui
0,3	2,01	8,2	Non
0,4	1,58	7,8	Non
0,5	1,23	7,5	Non
0,6	0,92	7,3	Non
0,7	0,65	7,1	Non
0,8	0,41	6,9	Non

Tableau F.7 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance $I_{\text{load}} = 2,3 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 50 \text{ Hz}$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	2,20	5,9	Oui
0,3	2,20	7,2	Oui
0,4	1,82	7,8	Non
0,5	1,41	7,5	Non
0,6	1,05	7,3	Non
0,7	0,74	7,1	Non
0,8	0,47	6,9	Non

Tableau F.8 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance $I_{\text{load}} = 2,5 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 50 \text{ Hz}$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	2,20	5,6	Oui
0,3	2,20	6,4	Oui
0,4	1,98	7,8	Non
0,5	1,53	7,5	Non
0,6	1,15	7,3	Non
0,7	0,81	7,1	Non
0,8	0,51	6,9	Non

Tableau F.9 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance ni surcharge d'urgence

$I_{\text{load}} = 1,0 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 60 \text{ Hz}$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	1,26	7,2	Non
0,3	1,00	6,8	Non
0,4	0,79	6,5	Non
0,5	0,61	6,3	Non
0,6	0,46	6,1	Non
0,7	0,32	5,9	Non
0,8	0,20	5,7	Non

Tableau F.10 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance, mais avec une surcharge d'urgence

$I_{\text{load}} = 1,2 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 60 \text{ Hz}$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	1,51	7,2	Non
0,3	1,20	6,8	Non
0,4	0,95	6,5	Non
0,5	0,74	6,3	Non
0,6	0,55	6,1	Non
0,7	0,39	5,9	Non
0,8	0,25	5,7	Non

Tableau F.11 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance, mais avec une surcharge d'urgence

$I_{\text{load}} = 1,4 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 60 \text{ Hz}$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	1,76	7,2	Non
0,3	1,40	6,8	Non
0,4	1,11	6,5	Non
0,5	0,86	6,3	Non
0,6	0,64	6,1	Non
0,7	0,45	5,9	Non
0,8	0,29	5,7	Non

Tableau F.12 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux sans oscillation de puissance, mais avec une surcharge d'urgence

$$I_{\text{load}} = 1,6 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 60 \text{ Hz}$$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	2,01	7,2	Non
0,3	1,60	6,8	Non
0,4	1,27	6,5	Non
0,5	0,98	6,3	Non
0,6	0,73	6,1	Non
0,7	0,52	5,9	Non
0,8	0,33	5,7	Non

Tableau F.13 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance

$$I_{\text{load}} = 1,8 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 60 \text{ Hz}$$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	2,20	6,5	Oui
0,3	1,80	6,8	Non
0,4	1,43	6,5	Non
0,5	1,10	6,3	Non
0,6	0,83	6,1	Non
0,7	0,58	5,9	Non
0,8	0,37	5,7	Non

Tableau F.14 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance

$$I_{\text{load}} = 2,0 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 60 \text{ Hz}$$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	2,20	5,6	Oui
0,3	2,01	6,8	Non
0,4	1,58	6,5	Non
0,5	1,23	6,3	Non
0,6	0,91	6,1	Non
0,7	0,65	5,9	Non
0,8	0,41	5,7	Non

Tableau F.15 – Exemples typiques de tensions transitoires de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance $I_{\text{load}} = 2,3 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 60 \text{ Hz}$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	2,20	4,9	Oui
0,3	2,20	6,0	Oui
0,4	1,82	6,5	Non
0,5	1,41	6,3	Non
0,6	1,05	6,1	Non
0,7	0,74	5,9	Non
0,8	0,47	5,7	Non

Tableau F.16 – Exemples typiques de tensions de rétablissement de réinsertion pour des réseaux avec oscillation de puissance $I_{\text{load}} = 2,5 \text{ p.u.}; U_{\text{PL}} = 2,2 \text{ p.u.}; \beta = 0,85 \text{ et } f = 60 \text{ Hz}$

Facteur de compensation k	Tension transitoire de réinsertion, première crête p.u.	Durée jusqu'à la première crête ms	Conduction du dispositif non linéaire à la première crête de tension
0,2	2,20	4,6	Oui
0,3	2,20	5,4	Oui
0,4	1,98	6,5	Non
0,5	1,53	6,3	Non
0,6	1,15	6,1	Non
0,7	0,81	5,9	Non
0,8	0,51	5,7	Non

Ces valeurs permettent de tirer les conclusions suivantes:

- Pour les installations de condensateurs série dont le facteur de compensation est faible ($k \leq 0,3$), la première crête de tension transitoire de réinsertion entre les bornes de l'interrupteur de contournement est importante et peut atteindre le niveau de protection de la varistance voltage (U_{PL}) pour les plages typiques de surcharge en situation d'urgence ou d'oscillation de puissance indiquées dans la CEI 60143-1. La première crête de tension peut être atteinte en un temps relativement court après le zéro de courant (moins de $\frac{1}{2}$ de la période de la fréquence industrielle).
- Pour les installations de condensateurs série dont le facteur de compensation est relativement élevé ($k > 0,3$), la première crête de tension transitoire de réinsertion entre les bornes de l'interrupteur de contournement est plus faible et ne peut pas atteindre le niveau de protection de la varistance (U_{PL}) pour les plages typiques de surcharge en situation d'urgence ou d'oscillation de puissance indiquées dans la CEI 60143-1. Le niveau de protection de la varistance (U_{PL}) est cependant atteint pour les installations de ce type lors des périodes de tension de réinsertion suivantes et il convient de concevoir l'interrupteur de contournement de telle sorte qu'il supporte le niveau de protection de la varistance.

Les Figures F.1 et F.2 donnent des exemples de formes d'onde typiques de la tension de rétablissement.

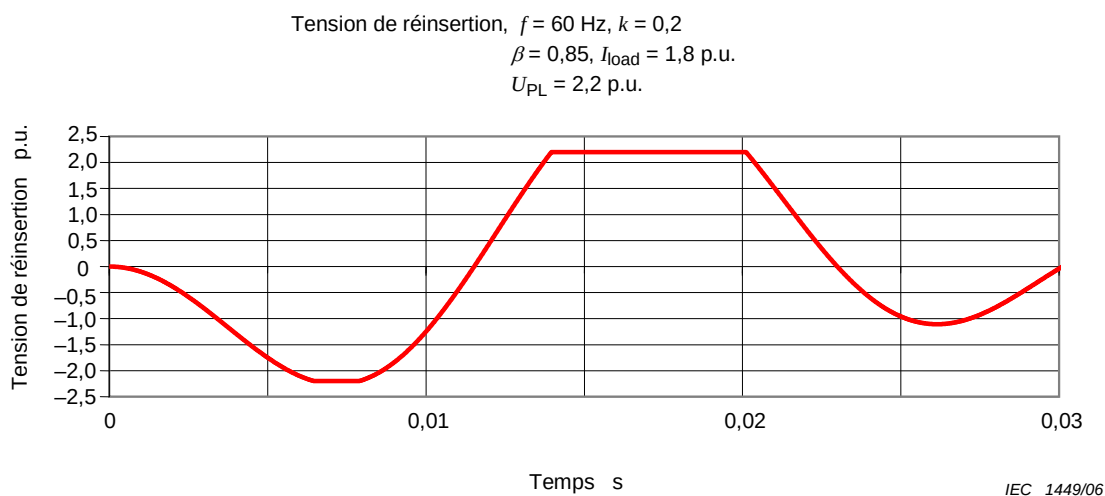


Figure F.1 – Exemple typique de tension transitoire de réinsertion entre les bornes d'un interrupteur de contournement pour une installation à faible facteur de compensation ($k = 0,2$) et pour une oscillation de puissance de 1,8 p.u.

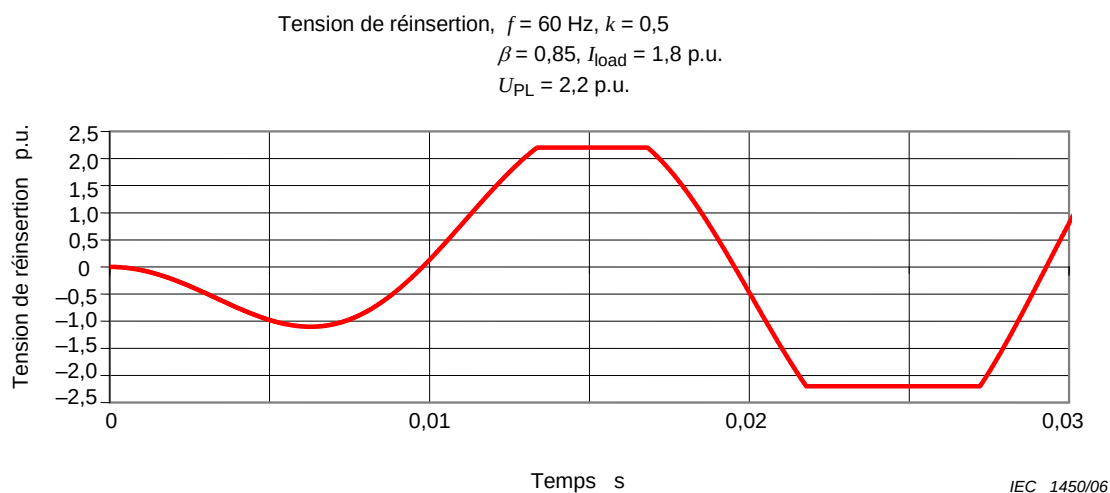


Figure F.2 – Exemple typique de tension transitoire de réinsertion entre les bornes d'un interrupteur de contournement pour une installation à facteur de compensation élevé ($k = 0,5$) et pour une oscillation de puissance de 1,8 p.u.

Les cas illustrés dans les Tableaux F.1 à F.16 ont été compilés dans les Figures F.3 et F.4, respectivement pour des fréquences de réseau de 50 Hz et de 60 Hz. Différentes enveloppes de tension transitoire de réinsertion ont été superposées.

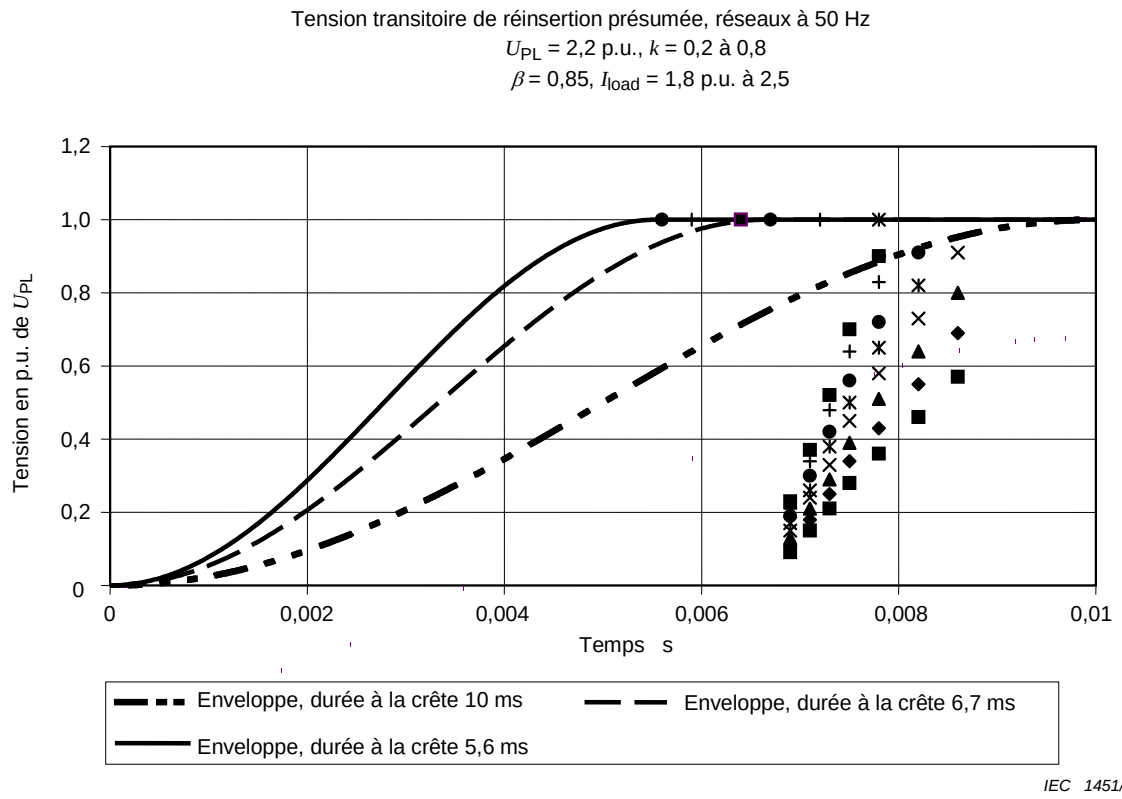


Figure F.3 – Comparaison des exemples de tensions transitoires de réinsertion calculées et enveloppes d'essais possibles pour les réseaux à 50 Hz

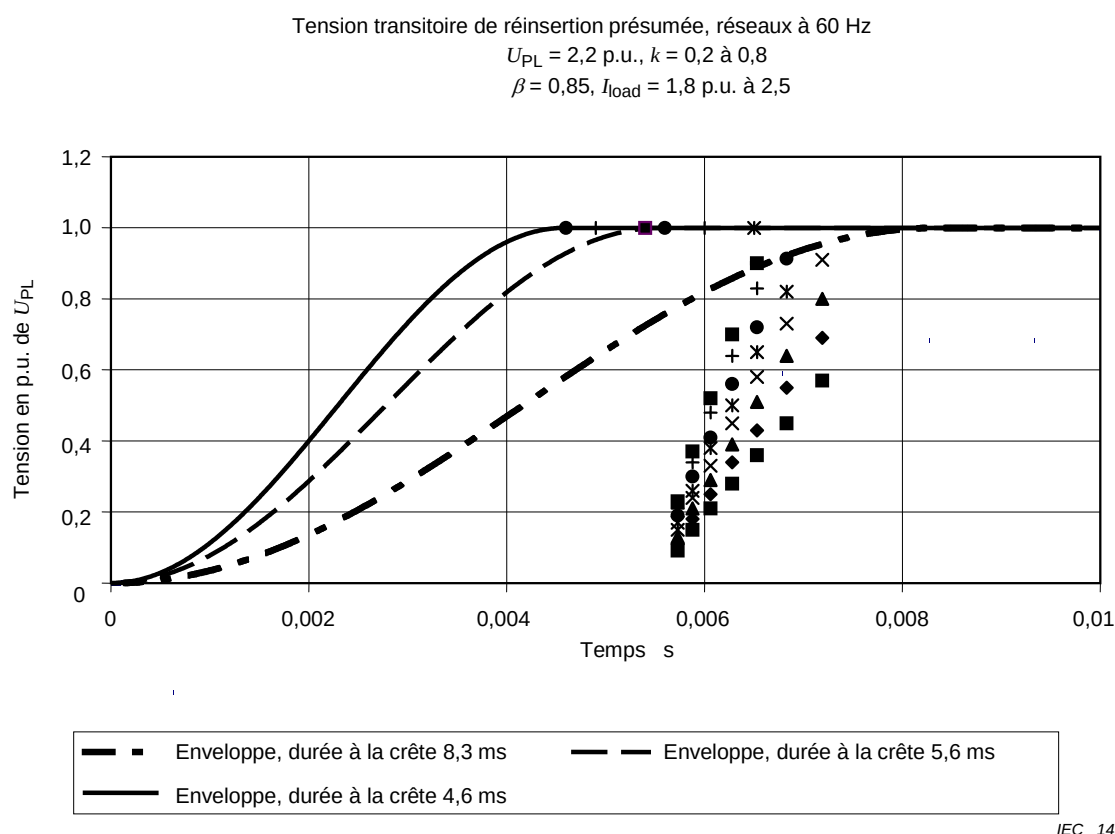


Figure F.4 – Comparaison des exemples de tensions transitoires de réinsertion calculées et enveloppes d'essais possibles pour les réseaux à 60 Hz

Les données illustrées dans les Figures F.3 et F.4 permettent de tirer les conclusions suivantes:

- la durée préférée jusqu'à la première crête de tension transitoire de réinsertion de 5,6 ms donnée en 4.104 permet de couvrir 100 % des exemples calculés pour les réseaux à 50 Hz;
- une durée jusqu'à la première crête de tension transitoire de réinsertion de 6,7 ms permet de couvrir 95 % des exemples calculés pour les réseaux à 50 Hz;
- une durée jusqu'à la première crête de tension transitoire de réinsertion de 10 ms permet de couvrir 88 % des exemples calculés pour les réseaux à 50 Hz;
- la durée préférée jusqu'à la première crête de tension transitoire de réinsertion de 5,6 ms donnée en 4.104 permet de couvrir 95 % des exemples calculés pour les réseaux à 60 Hz;
- une durée jusqu'à la première crête de tension transitoire de réinsertion de 4,6 ms permet de couvrir 100 % des exemples calculés pour les réseaux à 60 Hz;
- une durée jusqu'à la première crête de tension transitoire de réinsertion de 8,3 ms permet de couvrir 89 % des exemples calculés pour les réseaux à 60 Hz.

En se basant sur ces résultats, la valeur préférée de la durée jusqu'à la première crête (5,6 ms) indiquée en 4.104 couvrira la majorité des cas particuliers pour 50 Hz et 60 Hz et peut être utilisée comme valeur uniforme à des fins de normalisation et afin de limiter le nombre nécessaire d'essais de type au strict minimum. Cette valeur peut toutefois être trop restrictive pour certaines installations (par exemple facteurs de compensation élevés $k > 0,3$ ou courant d'urgence faible ou encore faible oscillation de la puissance) et des valeurs supérieures pour la durée jusqu'à la première crête peuvent être spécifiées afin d'obtenir une solution plus économique du point de vue des capacités de l'interrupteur de contournement.

Si une valeur différente de la valeur préférée de la durée jusqu'à la première crête de la tension transitoire de rétablissement est spécifiée, il convient de la justifier par des études détaillées du système et ces études doivent tenir compte des surcharges d'urgence et des oscillations de puissance ainsi que de la valeur réelle du niveau de protection de la varistance associé aux courants de charge pendant les surcharges d'urgence et les oscillations de puissance.

Annexe G (normative)

Utilisation de caractéristiques mécaniques et exigences liées

Au début des essais de type, les caractéristiques mécaniques de l'interrupteur de contournement doivent être déterminées, par exemple, en enregistrant les courbes de déplacement à vide. Ceci peut également être effectué par l'utilisation de paramètres caractéristiques, par exemple la vitesse momentanée après une certaine course, etc. Les caractéristiques mécaniques serviront de référence pour la caractérisation du comportement mécanique de l'interrupteur de contournement.

Les caractéristiques mécaniques doivent être utilisées pour confirmer que les différents spécimens d'essais utilisés durant les essais de type mécaniques, de contournement et d'insertion se comportent de façon similaire du point de vue mécanique. Tous les spécimens d'essais utilisés durant les essais de type mécaniques, de contournement et d'insertion doivent avoir une caractéristique mécanique à l'intérieur des enveloppes décrites ci-dessous. Il convient de prendre des précautions dans l'interprétation des courbes lorsqu'en raison de méthodes de mesure variables dans différents laboratoires, une comparaison directe entre les enveloppes ne peut être effectuée.

Le type et l'emplacement du capteur utilisé pour l'enregistrement des caractéristiques mécaniques doivent être indiqués dans le rapport d'essai. La courbe des caractéristiques mécaniques, qui peut être mesurée en tout point de la chaîne cinématique, peut être enregistrée de manière continue ou discrète. Dans le cas d'une mesure discrète, il convient d'enregistrer au moins 20 valeurs discrètes pour la course complète.

Les caractéristiques mécaniques doivent être utilisées pour déterminer les limites des écarts acceptables au-dessus ou au-dessous de cette courbe de référence. A partir de cette courbe de référence, deux courbes d'enveloppes doivent être tracées depuis l'instant de séparation des contacts jusqu'à la fin du déplacement des contacts pour la manœuvre d'ouverture et depuis le début du déplacement des contacts jusqu'à l'instant d'entrée en contact des contacts pour la manœuvre de fermeture. La distance des deux enveloppes par rapport à la course originale doit être de $\pm 5\%$ de la course totale, comme indiqué sur la Figure 8. Dans le cas d'interrupteurs de contournement ayant une course totale inférieure ou égale à 40 mm, la distance entre les deux enveloppes et la courbe d'origine doit être de ± 2 mm. Il est reconnu que pour certaines conceptions d'interrupteurs de contournement, ces méthodes peuvent ne pas être appropriées, comme par exemple pour les interrupteurs de contournement à vide. Dans ces cas, le constructeur doit définir une méthode appropriée pour vérifier le fonctionnement correct de l'interrupteur de contournement.

Si des caractéristiques mécaniques autres que des courbes sont utilisées, le constructeur doit définir la méthode alternative et les tolérances utilisées.

Les Figures 7 à 10 sont données à titre illustratif et montrent seulement une manœuvre d'ouverture. Elles sont idéalisées, et ne montrent pas la variation en terme de profil causée par la friction des contacts ou les amortissements en fin de course. En particulier, il est important de noter que les effets d'amortissement ne sont pas montrés dans ces diagrammes. Les oscillations produites en fin de course dépendent de l'efficacité de l'amortissement du système d'entraînement. L'allure de ces oscillations peut être une fonction délibérée de la conception et peut varier légèrement d'un spécimen à un autre. Par conséquent, il est important que tous les écarts de la courbe en fin de course, hors marge de tolérance par rapport à l'enveloppe, soient clairement détaillés et interprétés avant d'être rejetés ou acceptés par rapport aux courbes de référence. En général, pour qu'elles soient acceptées, il convient que toutes les courbes soient à l'intérieur des enveloppes.

Les enveloppes peuvent être déplacées verticalement jusqu'à ce qu'une des courbes couvre la courbe de référence. Cela donne des tolérances maximales par rapport aux caractéristiques mécaniques de -0% , $+10\%$ et -10% , $+0\%$, respectivement, comme représenté aux Figures 9 et 10. Le déplacement de l'enveloppe peut être utilisé seulement une fois pour la procédure complète dans chaque essai, pour obtenir un écart total maximal de 10% par rapport à la caractéristique de référence.

Le Tableau G.1 énumère les essais de type et les caractéristiques mécaniques de référence correspondantes pour les essais à vide, de contournement et d'insertion.

Tableau G.1 – Résumé des essais de type liés aux caractéristiques mécaniques

Paragraphe applicable	Essais où les enregistrement doivent être pris	Méthode d'évaluation	Application/Notes
6.101.1.1 Caractéristiques mécaniques	Essai à vide avant le début des essais de type	Non applicable	Guide général pour les caractéristiques mécaniques de référence
6.101.1.3 Caractéristiques et réglages de l'interrupteur de contournement à enregistrer avant et après les essais	Avant et après les essais mécaniques et d'environnement	Non applicable	Liste des éléments à enregistrer
6.101.2.2 État de l'interrupteur de contournement avant l'essai (mécanique)	Essai à vide avant l'essai mécanique	^a	Essai mécanique sur un seul pôle actionné séparément d'un interrupteur de contournement tripolaire
6.101.2.5 Critères d'acceptation pour les essais de manœuvre mécanique	Essai à vide après l'essai mécanique	^b	
6.101.3.3 Essai à basse température	Essai à vide avant et après l'essai à basse température	^b	Selon la classe de température minimale spécifiée
6.101.3.4 Essai à haute température	Essai à vide avant et après l'essai à haute température	^b	Lorsque requis
6.101.6 Essai avec efforts statiques sur les bornes	Essai à vide avant et après l'essai avec efforts statiques sur les bornes	^a	Voir aussi la note de 6.101.6.2
6.102.3.3 Type à enveloppes multiples	Essais à vide avant essais	^a	Pour les enveloppes multiples opérées simultanément
6.102.4.2 Essais sur éléments séparés	Essai à vide avant les essais	^a	Pour les interrupteurs de contournement avec deux ou plusieurs éléments qui ne sont pas actionnés séparément à l'intérieur d'un pôle
6.102.6 Manœuvre à vide avant les essais (de contournement et d'insertion)	Essai à vide avant les essais	^a	Pour tous les essais de contournement et d'insertion
6.102.7 Mécanisme d'entraînement alternatif	Essai à vide avant l'essai	^a	Pour les mécanismes d'entraînement alternatifs équivalents
	Essai d'établissement du courant de contournement	^c	
^a Evaluation de la méthode donnée en 6.101.1.1 et à l'Annexe G; comparaison des caractéristiques mécaniques.			
^b Evaluation de la méthode donnée en 6.101.1.3 et 6.101.1.4.			
^c Evaluation de la méthode donnée en 6.102.7.			

Bibliographie

CEI 60050-601, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Généralités*

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

CEI 60071-2:1996, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

CEI 60137, *Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1 000 V*

CEI 62271-200:2003, *Appareillage à haute tension – Partie 200: Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

CEI 62271-203:2003, *Appareillage à haute tension – Partie 203: Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 52 kV*

CEI 62271-300:2006, *Appareillage à haute tension – Partie 300: Qualification sismique des disjoncteurs à courant alternatif*

BIPM, CEI, FICC, ISO, OIML, UICPA, UIPPA: 1995, *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*

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