

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Tap-changers –
Part 1: Performance requirements and test methods**

**Changeurs de prises –
Partie 1: Prescriptions de performances et méthodes d'essai**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60214-1:2014



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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 l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne 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 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



Tap-changers –

Part 1: Performance requirements and test methods

Changeurs de prises –

Partie 1: Prescriptions de performances et méthodes d'essai

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XC**
CODE PRIX

ICS 29.180

ISBN 978-2-8322-1988-1

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.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
4 Service conditions	15
4.1 Temperature of tap-changer environment.....	15
4.2 Temperature of motor-drive mechanism environment.....	16
4.3 Overload conditions	16
5 Requirements for on-load tap-changers	16
5.1 General requirements	16
5.1.1 Rating.....	16
5.1.2 Compartments for diverter and selector switches	17
5.1.3 Liquid-level gauges and gas monitoring devices	17
5.1.4 Safety requirements for protection against internal failure.....	17
5.1.5 Limiting devices for the protection against transient overvoltages	18
5.1.6 Change-over selector recovery voltages	18
5.1.7 Leakage inductance in coarse fine regulation arrangements	18
5.2 Type tests.....	18
5.2.1 General	18
5.2.2 Temperature rise of contacts	19
5.2.3 Switching tests	20
5.2.4 Short-circuit current test	25
5.2.5 Transition impedance test.....	26
5.2.6 Mechanical tests.....	27
5.2.7 Tightness test.....	29
5.2.8 Dielectric tests.....	30
5.2.9 Type-test certificate	35
5.3 Routine tests.....	35
5.3.1 General.....	35
5.3.2 Mechanical test	35
5.3.3 Sequence test	35
5.3.4 Auxiliary circuits insulation test.....	35
5.3.5 Pressure and vacuum tests.....	35
6 Requirements for motor-drive mechanisms for on-load tap-changers	35
6.1 General requirements	35
6.1.1 Compliance of component parts.....	35
6.1.2 Permissible variation of auxiliary supply	36
6.1.3 Step-by-step control	36
6.1.4 Tap position indicator	36
6.1.5 Tap-change in progress indication	36
6.1.6 Limiting devices.....	36
6.1.7 Parallel control devices.....	36
6.1.8 Direction of rotation protection.....	36
6.1.9 Overcurrent blocking device	36
6.1.10 Restarting device.....	37
6.1.11 Operation counter.....	37

6.1.12	Manual operation of the motor-drive mechanism	37
6.1.13	Motor-drive cubicle	37
6.1.14	Protective device against running-through	37
6.1.15	Protection against access to hazardous parts	37
6.2	Type tests	37
6.2.1	Mechanical load test	37
6.2.2	Overrun test	38
6.2.3	Degree of protection of motor-drive cubicle	38
6.3	Routine tests	38
6.3.1	Mechanical tests	38
6.3.2	Auxiliary circuits insulation test	38
7	Requirements for de-energized tap-changers	38
7.1	General requirements	38
7.1.1	Rated characteristics	38
7.1.2	Types	39
7.1.3	Handles and drives	39
7.1.4	Glands	39
7.1.5	Interlocks	39
7.1.6	Mechanical end stops	39
7.2	Type tests	40
7.2.1	General	40
7.2.2	Temperature rise of contacts	40
7.2.3	Short-circuit current test	41
7.2.4	Mechanical tests	41
7.2.5	Dielectric tests	42
7.2.6	Type test certificate	47
7.3	Routine tests	47
7.3.1	Mechanical tests	47
7.3.2	Pressure and vacuum tests	47
8	Requirements for motor-drive mechanisms for de-energized tap-changers	47
8.1	General requirements	47
8.1.1	General	47
8.1.2	Compliance of component parts	47
8.1.3	Permissible variation of auxiliary supply	47
8.1.4	Tap position indicator	47
8.1.5	Limiting devices	48
8.1.6	Operation counter	48
8.1.7	Manual operation of the motor-drive mechanism	48
8.1.8	Motor-drive cubicle	48
8.1.9	Protection against access to hazardous parts	48
8.2	Type tests	48
8.2.1	Mechanical load test	48
8.2.2	Overrun test	49
8.2.3	Degree of protection of motor-drive cubicle	49
8.3	Routine tests	49
8.3.1	Mechanical tests	49
8.3.2	Auxiliary circuits insulation test	49
9	Nameplate	49
9.1	Tap-changers (on-load and de-energized)	49

9.2	Motor-drive mechanisms	50
10	De-energized tap-changer warning label.....	50
11	Manufacturers operating instructions	51
Annex A (normative) Supplementary information on switching duty on main and transition contacts relating to resistor type tap-changers.....		52
Annex B (normative) Supplementary information on switching duty relating to reactor type tap-changers		58
B.1	Additional test parameters	58
B.1.1	Service duty test.....	58
B.1.2	Breaking capacity test	58
B.2	Duty of switching contacts	58
Annex C (normative) Method for determining the equivalent temperature of the transition resistor using power pulse current		69
Annex D (informative) Simulated a.c. circuits for service duty and breaking capacity tests		70
D.1	General.....	70
D.2	Transformer method.....	70
D.3	Resistance method	71
Annex E (informative) Example of a synthetic test circuit for service duty test of vacuum type tap-changers		73
E.1	Definitions with relevance to the synthetic test circuit.....	73
E.1.1	Synthetic test circuit	73
E.1.2	Simulated a.c. test circuit.....	73
E.1.3	Pre-arc	73
E.1.4	Making voltage	73
E.2	Example for the test setup of a synthetic test circuit.....	73
E.3	Example for the breaking/making condition during a switching operation.....	74
Bibliography.....		76
Figure 1 – Short-circuit test current (r.m.s. value) as a multiple of the maximum rated through-current (on-load tap-changer)		25
Figure 2 – Time sequence for the application of test voltage (on-load tap-changer).....		34
Figure 3 – Short-circuit test current (r.m.s. value) as a multiple of the maximum rated through-current (de-energized tap-changer).....		41
Figure 4 – Time sequence for the application of test voltage (de-energized tap-changer).....		46
Figure 5 – Warning label (example)		50
Figure A.1 – Examples of current and voltage vectors for resistor type tap-changers		53
Figure B.1 – Operating sequence of reactor type tap-changers with selector switch.....		59
Figure B.2 – Current and voltage vectors for reactor type tap-changers with selector switch		60
Figure B.3 – Operating sequence of reactor type tap-changers with selector switch and equalizer windings		61
Figure B.4 – Current and voltage vectors for reactor type tap-changers with selector switch and equalizer windings.....		62
Figure B.5 – Operating sequence of a reactor type tap-changer with diverter switch and tap selector		64
Figure B.6 – Current and voltage vectors for reactor type tap-changers with diverter switch and tap selector		65

Figure B.7 – Operating sequence of a reactor type tap-changer with vacuum interrupter and tap selector	67
Figure B.8 – Current and voltage vectors for reactor type tap-changers with vacuum interrupter and tap selector	68
Figure D.1 – Simulated test circuit – Transformer method	70
Figure D.2 – Simulated test circuit – Resistance method	71
Figure E.1 – Synthetic test circuit for service duty test of vacuum type tap-changers	73
Figure E.2 – Currents of the synthetic test circuit	74
Figure E.3 – Example of the synthetic test for a switching operation with equal voltages for breaking and making duty	74
Table 1 – Temperature of tap-changer environment	16
Table 2 – Contact temperature-rise limits for on-load tap-changers	19
Table 3 – Test voltage levels for on-load tap-changers	30
Table 4 – Contact temperature-rise limits for de-energized tap-changers	40
Table 5 – Test voltage levels for de-energized tap-changers	43
Table A.1 – Duty of main and transition contacts for resistor type tap-changers (non-vacuum type)	54
Table A.2 – Effect of load power-factor on circuit-breaking duty for resistor type tap-changers (non-vacuum type)	55
Table A.3 – Duty of main and transition contacts for resistor type tap-changers (vacuum type) (1 of 2)	56
Table B.1 – Duty of switching contacts for reactor type tap-changers with selector switch – Switching direction from P1 to P5	59
Table B.2 – Duty of switching contacts for reactor type tap-changers with selector switch and equalizer windings – Switching direction from P1 to P5	61
Table B.3 – Duty of switching contacts for reactor type tap-changers with diverter switch and tap selector – Switching direction from P1 to P7	63
Table B.4 – Duty of switching contacts for reactor type tap-changers with vacuum interrupter and tap selector – Switching direction from P1 to P11	66

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

TAP-CHANGERS –

Part 1: Performance requirements and test methods

FOREWORD

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

International Standard IEC 60214-1 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2003. This edition constitutes a technical revision.

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

- incorporation of requirements on vacuum type on-load tap-changers,
- incorporation of requirements on gas insulated tap-changers,
- changes in the type tests to fit with the service conditions,
- reference to the newest edition of IEC 60076-3:2013.

This bilingual version (2014-12) corresponds to the monolingual English version, published in 2014-05.

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

CDV	Report on voting
14/746/CDV	14/767A/RVC

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

The French version of this standard has not been voted upon.

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

A list of all parts in the IEC 60214 series, published under the general title *Tap-changers*, can be found on the IEC website.

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

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

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

TAP-CHANGERS –

Part 1: Performance requirements and test methods

1 Scope

This part of IEC 60214 applies to on-load tap-changers of both resistor and reactor types, de-energized tap-changers, and their motor-drive mechanisms.

It applies mainly to tap-changers immersed in mineral insulating oil according to IEC 60296 but may also be used for tap-changers with air or gas insulation or immersed in other insulating liquids insofar as conditions are applicable.

It applies mainly to tap-changers with arcing contacts but may also be used for arcing-free on-load tap-changers (such as electronic switching) insofar as conditions are applicable.

This part of IEC 60214 applies to power and distribution transformers of all types and also to reactors.

It does not apply to transformers and reactors mounted on railway rolling stock.

2 Normative references

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

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-421, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 421: Power transformers and reactors*

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

IEC 60076-3:2013, *Power transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air*

IEC 60076-7:2005, *Power transformers – Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers*

IEC 60076-21:2011, *Power transformers – Part 21: Standard requirements, terminology, and test code for step-voltage regulators*

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

IEC 60214-2:2004, *Tap-changers – Part 2: Application guide*

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

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

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

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-421 as well as the following apply.

3.1

on-load tap-changer

OLTC

device for changing the tap connections of a winding, suitable for operation while the transformer is energized or on load

Note 1 to entry: On-load tap-changers are sometimes called load tap-changers (LTC).

3.2

non-vacuum type on-load tap-changer

on-load tap-changer with contacts that break and make the load and circulating currents and where the arcing takes place in a liquid or gas, the tap-changer itself being placed in liquid or gas

Note 1 to entry: This definition does not apply to arcing-free on-load tap-changers.

3.3

vacuum type on-load tap-changer

on-load tap-changer where vacuum interrupters (VI) break and make the load and circulating currents, the tap-changer itself being placed in a different medium such as liquid or gas

3.4

tap selector

device designed to carry, but not to make or break, current, used in conjunction with a diverter switch to select tap connections

3.5

diverter switch

switching device used in conjunction with a tap selector to carry, make and break currents in circuits which have already been selected

Note 1 to entry: Diverter switches are sometimes called arcing switches.

3.6

selector switch

switching device capable of carrying, making and breaking current, combining the duties of a tap selector and a diverter switch

Note 1 to entry: Selector switches are sometimes called arcing tap switches.

Note 2 to entry: In non-vacuum type selector switches the selection of tap connections (tap selector duty) and the diversion of the through-current (diverter switch duty) are carried out by the same contacts.

Note 3 to entry: In vacuum type selector switches the selection of tap connections (tap selector duty) and the diversion of the through-current (diverter switch duty) are carried out by different contacts.

3.7**de-energized tap-changer****DETC**

device for changing the tap connections of a winding, suitable for operation only while the transformer is de-energized (isolated from the system)

Note 1 to entry: De-energized tap-changers are sometimes called off-circuit tap-changers.

Note 2 to entry: De-energized tap-changers are sometimes abbreviated as DTC.

3.8**change-over selector**

device designed to carry, but not to make or break, through-current, used in conjunction with the tap selector or selector switch to enable its contacts and the connected taps to be used more than once when moving from one extreme position to the other

3.9**coarse change-over selector**

change-over selector connecting the tap winding to either the main winding or the coarse winding or parts thereof

3.10**reversing change-over selector**

change-over selector connecting either end of the tap winding to the main winding

3.11**transition impedance**

resistor or reactor consisting of one or more units bridging the tap in use and the tap next to be used, for the purpose of transferring load from one tap to the other without interruption or appreciable change in the load current, at the same time limiting the circulating current for the period that both taps are used

Note 1 to entry: For reactor type tap-changers, the transition impedance (reactor) is commonly called a preventive auto transformer. Reactor type tap-changers normally use the bridging position as a service position (mid-point or centre tapped reactor tap-changers) and, therefore, the reactor is designed for continuous operation.

3.12**preventive auto transformer**

auto transformer (or centre tapped reactor) used in on-load tap-changing and regulating transformers, or step voltage regulators to limit the circulating current when operating on a position in which two adjacent taps are bridged, or during the change of tap between adjacent positions

3.13**equalizer winding**

winding on the same magnetic circuit (core) as the excitation and tap winding of a reactor type regulating transformer with approximately half the number of turns of each tap section

3.14**drive mechanism**

means by which the drive to the tap-changer is actuated

Note 1 to entry: The mechanism may include an independent means of storing energy to control the operation.

3.15**set of contacts**

pair of individual fixed and moving contacts or a combination of such pairs operating substantially simultaneously

3.16

diverter switch and selector switch main contacts <of a resistor type tap-changer>
set of through-current carrying contacts which usually by-passes the main switching contact and only commutates any current (sparking often occurs)

3.17

diverter switch and selector switch main switching contacts <of a resistor type tap-changer>
set of contacts which has no transition resistor between the transformer winding and the contacts and makes and breaks current (arcing will occur)

Note 1 to entry: In case of vacuum type tap-changers, these contact systems are replaced by vacuum interrupters.

3.18

diverter switch and selector switch transition contacts, <of a resistor type tap-changer>
set of contacts which is connected in series with a transition resistor and makes or breaks current (arcing will occur)

Note 1 to entry: In case of vacuum type tap-changers, these contact systems are replaced by vacuum interrupters.

3.19

transfer contacts <of a reactor type tap-changer>
set of contacts that makes or breaks current

Note 1 to entry: Where by-pass contacts are not provided, the transfer contact is a continuous current-carrying contact.

3.20

by-pass contacts <of a reactor type tap-changer>
set of through-current carrying contacts that commutates the current to the transfer contacts without any arc (sparking may occur)

3.21**bridging position**

position of a reactor type tap-changer with the selector and transfer contacts being on two adjacent taps and with the output terminal being electrically in the middle between two adjacent taps

3.22**non-bridging position**

position of a reactor type tap-changer with the selector and transfer contacts being on the same tap

3.23**circulating current**

that part of the current that flows through the transition impedance at the time when two taps are momentarily bridged during a tap-change operation for a resistor type tap-changer or when bridged in an operating position for a reactor type tap-changer

Note 1 to entry: The circulating current is due to the voltage difference between the taps.

3.24**switched current**

prospective current to be broken during switching operation by each set of main switching or transition contacts (resistor type tap-changer) or transfer contacts (reactor type tap-changer) incorporated in the diverter switch or the selector switch

3.25**recovery voltage**

power-frequency voltage which appears across each set of main switching or transition contacts (resistor type tap-changer) or transfer contacts (reactor type tap-changer) of the diverter switch or selector switch after these contacts have broken the switched current

3.26**tap-change operation**

complete sequence of events from the initiation to the completion of a tap-change from one service tap position to an adjacent position

3.27**cycle of operation**

movement of the tap-changer from one end of its range to the other end and the return to its original position

3.28**rated insulation level**

withstand values of the impulse and applied voltages to earth, and where appropriate between phases, and between those parts where insulation is required

3.29**rated through-current** I_r

current flowing through an on-load tap-changer towards the external circuit, which the apparatus is capable of transferring from one tap to the other at the relevant rated step voltage and which can be carried continuously while meeting the requirements of this standard

3.30**maximum rated through-current** I_{rm}

highest rated through-current for which the tap-changer is designed for and all the current related tests are based on

3.31**rated step voltage** U_{ir}

for each value of rated through-current, the highest permissible voltage between terminals which are intended to be connected to successive taps of the transformer

3.32**relevant rated step voltage**

highest step voltage permitted in connection with a given rated through-current

3.33**maximum rated step voltage** U_{irm}

highest value of the rated step voltage for which the tap-changer is designed

3.34**rated frequency**

frequency of the alternating current for which the tap-changer is designed

3.35**number of inherent tap positions**

highest number of tap positions for half a cycle of operation for which a tap-changer can be used according to its design

Note 1 to entry: The term “tap positions” is generally given as the \pm value of the relevant number, for example, ± 11 positions. They are in principle also valid for the motor-driven mechanism. When using a “number of tap positions” in connection with a transformer, this always refers to the number of service tap positions of the transformer.

3.36 number of service tap positions

number of tap positions for half a cycle of operation for which a tap-changer is used in the transformer

Note 1 to entry: The term “tap position” is generally given as the \pm values of the relevant number, for example, ± 11 positions. They are in principle also valid for the motor-driven mechanism. When using the term “number of tap positions” in connection with a transformer, this always refers to the number of service tap positions of the transformer.

3.37 type test

test made on a tap-changer which is representative of other tap-changers, to demonstrate that these tap-changers comply with the specified requirements not covered by the routine tests: a tap-changer is considered to be representative of others if it is built to the same drawings using the same techniques and same materials

Note 1 to entry: In general a type test can be carried out on a tap-changer or the components of a tap-changer or a family of tap-changers or components.

Note 2 to entry: A family of tap-changers is a number of tap-changers based on the same design and having the same characteristics, with the exception of the insulation levels to earth and possibly between phases, the number of steps and in the case of OLTCs the value of the transition impedance.

Note 3 to entry: Design variations that are clearly irrelevant to a particular type test would not require that type test to be repeated.

Note 4 to entry: Design variations that cause a reduction in values and stresses relevant to a particular type test do not require a new type test if accepted by the purchaser and the manufacturer.

3.38 routine test

test to which each individual tap-changer is subjected

Note 1 to entry: In general a routine test can be carried out on a tap-changer or the components of a tap-changer.

3.39 motor-drive mechanism

driving mechanism which incorporates an electric motor and a control circuit

3.40 step-by-step control <of a motor-drive mechanism>

device for stopping the motor-drive mechanism after completion of a tap-change, independently of the operating sequence of the control switch

3.41 tap position indicator

device for indicating the tap position of the tap-changer

3.42 tap-change in progress indicator

device for indicating that the motor-drive mechanism is running

3.43 limit switches

devices for preventing operation of the tap-changer beyond either end position, but allowing operation in the opposite direction

3.44**mechanical end stop**

device which physically prevents operation of the tap-changer beyond either end position, but allows operation in the opposite direction

3.45**parallel control device**

control device to move, in the case of parallel operation of several transformers with taps, all tap-changers to the required position and to avoid divergence of the respective motor-drive mechanisms

Note 1 to entry: Such devices would be necessary also in the case of single-phase transformers forming a three-phase bank when each single-phase tap-changer is fitted with its own motor-drive mechanisms.

3.46**emergency tripping device**

device for stopping the motor-drive mechanism at any time in such a way that a special action has to be performed before the next tap-change operation can be started

3.47**overcurrent blocking device**

device for preventing or interrupting operation of the motor-drive mechanism for the period in which an overcurrent exceeding a pre-set value is flowing in the transformer winding

Note 1 to entry: Where diverter or selector switches are actuated by spring energy systems, interruption of the operation of the motor-drive mechanism will not prevent operation of the diverter or selector switch if the spring release has been actuated.

3.48**restarting device**

device designed to restart the motor-drive mechanism after an interruption of the supply voltage to complete a tap-change operation already initiated

3.49**operation counter**

device for indicating the number of tap-changes accomplished

3.50**manual operation of a motor-drive mechanism**

operation of the tap-changer manually by a device, blocking at the same time operation by the electric motor

3.51**motor-drive cubicle**

cubicle that houses the motor-drive mechanism

3.52**protective device against running-through**

device that stops the motor-drive mechanism in case of a failure of the step-by-step control circuit which would cause the motor-drive mechanism to run through several tap positions

3.53**class I tap-changer**

tap-changer only suitable for use at the neutral point of windings

3.54**class II tap-changer**

tap-changer suitable for use at any position in the windings

3.55**in-tank tap-changer**

tap-changer mounted inside the main transformer tank and immersed in the insulating liquid of the transformer

Note 1 to entry: See IEC 60214-2 for further details.

3.56**compartment type tap-changer**

tap-changer with its own housing mounted outside the main transformer tank and immersed in its own insulating liquid

Note 1 to entry: See IEC 60214-2 for further details.

3.57**gas immersed tap-changer**

tap-changer mounted inside the main tank of the gas filled type transformer or in a container outside the main tank and immersed in the insulating gas

Note 1 to entry: Usually the insulating gas is SF₆.

3.58**air insulated tap-changer**

tap-changer where the insulation medium is the air at atmospheric pressure

Note 1 to entry: This kind of tap-changer is usually mounted to a dry-type transformer and does not need its own container.

3.59**maintenance**

measure on the tap-changer that needs the transformer to be taken out of service

Note 1 to entry: Inspection is a measure on the tap-changer that does not need the transformer to be taken out of service.

Note 2 to entry: Replacement of parts is dependent on the findings resulting from the maintenance.

3.60**highest voltage for equipment**

U_m

highest r.m.s. phase-to-phase voltage in a three-phase system for which a tap-changer is designed with respect to its insulation

4 Service conditions**4.1 Temperature of tap-changer environment**

Unless more onerous conditions are specified by the purchaser, liquid immersed tap-changers shall be regarded as suitable for operation over the ranges of temperature given in Table 1.

Table 1 – Temperature of tap-changer environment

Tap-changer	Temperature	
	Minimum	Maximum
Compartment type tap-changer	–25 °C	40 °C
In-tank tap-changer	–25 °C	105 °C
NOTE 1 For the definitions of the tap-changer, see 3.55 and 3.56.		
NOTE 2 The value of 105 °C quoted above is based on the maximum top oil temperature in case of normal cyclic loading as specified in IEC 60076-7.		
NOTE 3 Minimum and maximum liquid temperatures of step-voltage regulators established in IEC 60076-21 take precedence.		

4.2 Temperature of motor-drive mechanism environment

Unless more onerous conditions are specified by the purchaser, motor-drive mechanisms shall be regarded as suitable for operation in any ambient temperature between –25 °C and 40 °C.

For more onerous conditions for tap-changer or motor-drive mechanism environments, reference should be made to IEC 60214-2.

4.3 Overload conditions

Tap-changers which comply with this standard and are selected and installed in accordance with IEC 60214-2 shall not restrict emergency loading of the transformer according to IEC 60076-7, which could result in top oil temperatures as high as 115 °C.

See Note 3 in Table 1 in which maximum liquid temperature limit of step-voltage regulators relates to 200 % overload for half an hour.

5 Requirements for on-load tap-changers

5.1 General requirements

5.1.1 Rating

5.1.1.1 Rated characteristics

The rated characteristics of an on-load tap-changer are:

- rated through-current;
- maximum rated through-current;
- rated step voltage;
- maximum rated step voltage;
- rated frequency;
- rated insulation level.

5.1.1.2 Interrelation between rated through-current and rated step voltage

Up to the maximum rated through-current of the on-load tap-changer there may be different assigned combinations of values of rated through-current and corresponding rated step voltage. When a value of rated step voltage is referred to a specific value of rated through-current it is called the “relevant rated step voltage”.

5.1.2 Compartments for diverter and selector switches

The liquid filled compartments for diverter and selector switches shall be liquid-tight. The gas filled compartments for diverter and selector switches shall be gas-tight. Where appropriate, pressure and vacuum withstand values shall be declared by the manufacturer.

If the insulating liquid is to be supervised by dissolved and free gases analysis (DGA), the liquid filled compartment of the diverter or selector switch should be provided with a liquid conservator which has a liquid and gas-tight barrier. In case of vacuum type OLTCs this matter should be discussed between transformer manufacturer and customer.

5.1.3 Liquid-level gauges and gas monitoring devices

Liquid compartments for diverter or selector switches with integral expansion volume or separate conservators for these compartments, when fitted, shall be provided with liquid-level gauges.

Gas compartments for diverter or selector switches shall be provided with gas monitoring devices.

5.1.4 Safety requirements for protection against internal failure

5.1.4.1 General

In order to reduce the consequences resulting from an internal failure within the diverter or selector switch compartment, a protective device shall be fitted. The protective device shall have a function to detect a failure arc or a failure mode that finally will lead to a failure arc.

It is up to the manufacturer to recommend a protection device for the selected OLTC. At least one protective device shall be fitted.

The most common types of protection devices for liquid immersed OLTC are described below.

The tap selector compartments of compartment type on-load tap-changers are usually piped to the main transformer buchholz relay. Consideration should also be given to fitting a separate buchholz relay between the tap selector compartment and the conservator.

NOTE For those types of on-load tap-changers that do not create an arc and are installed in sealed compartments, other protective devices can be used.

5.1.4.2 Liquid-flow controlled relay

The liquid-flow controlled relay, installed in the pipe between the top of the diverter or selector switch and the liquid conservator, shall respond at a predetermined liquid flow and enable the transformer to be tripped.

5.1.4.3 Overpressure relay

The overpressure relay shall respond in the event of the pressure in the diverter or selector switch compartment exceeding a predetermined value, and enable the transformer to be tripped.

5.1.4.4 Pressure relief device

The pressure relief device shall open when a predetermined pressure is exceeded and its opening shall protect the diverter or selector switch compartment.

Where a pressure relief device is the sole protection, it shall also be arranged with contacts to enable the transformer to be tripped.

If a pressure relief device is fitted, the use of a self-sealing diaphragm type is possible. Consideration should also be given to fitting an outlet such as ducting or trunking from the pressure relief device to protect personnel from the displaced liquid. The use of such devices should be subject to agreement between the manufacturer and the purchaser.

5.1.5 Limiting devices for the protection against transient overvoltages

For on-load tap-changers which incorporate limiting devices for transient overvoltages, the manufacturer of the on-load tap-changer shall give full details of the protective characteristics, together with any limitations which might be imposed during tests on the completed transformer.

When spark gaps are used, care shall be taken to ensure that, after spark-over, the discharge is quenched automatically.

5.1.6 Change-over selector recovery voltages

When coarse or reversing change-over selectors operate they momentarily disconnect the tap winding. This can cause high recovery voltages across the change-over selector contacts during contact separation due to capacitive coupling between the tap winding and adjacent winding(s). The on-load tap-changer manufacturer shall declare any limiting switching parameters for change-over selectors incorporated in an on-load tap-changer.

NOTE IEC 60214-2 gives further details of selection, control circuits and devices and transformer testing recommendations.

5.1.7 Leakage inductance in coarse fine regulation arrangements

When changing from the end of the tap winding to the end of the coarse winding or vice versa with resistor type tap-changers, a high leakage inductance can be set up with the two windings in series opposition. This can cause a phase shift between the switched current and recovery voltage of the diverter or selector switch. This may result in extended arcing of the switch.

The on-load tap-changer manufacturer shall declare any switching limitations.

NOTE IEC 60214-2 gives further details of selection and winding configurations regarding leakage inductance.

5.2 Type tests

5.2.1 General

The following type tests shall be performed on samples of the relevant on-load tap-changers after their final development or on equivalent components provided that the manufacturer can demonstrate that the relevant test conditions and results are not influenced by testing only components instead of the complete tap-changer:

NOTE No differentiation has to be made with respect to the test supplies with frequencies of 50 Hz or 60 Hz. The tests can be carried out with either frequency.

- temperature rise of contacts (5.2.2);
- switching tests (5.2.3);
- short-circuit current test (5.2.4);
- transition impedance test (5.2.5);
- mechanical tests (5.2.6);
- tightness test (5.2.7)
- dielectric tests (5.2.8).

5.2.2 Temperature rise of contacts

Tests shall be performed to verify that the temperature rise above the medium surrounding each type of contact which carries through-current continuously in service does not exceed the values given in Table 2 when the contacts have reached a steady temperature when carrying 1,2 times the maximum rated through-current. Contacts that should be tested are those which carry current continuously in service and are opened and closed or being moved at some instant during service life or maintenance, except bolted connections.

NOTE 1 If a current carrying contact carries at least 90 % of the through-current, it is not necessary to measure the temperature rise of the contacts being by-passed.

NOTE 2 Contacts operating in vacuum do not need to be measured.

For reactor type tap-changers without an equalizer winding the highest temperature rise is experienced in the bridging position which has the highest tap voltage impressed upon it.

For reactor type tap-changers with an equalizer winding the highest temperature rise will be experienced in either the bridging or non-bridging positions. The preventive autotransformer (reactor) is energized in all tap positions (non-bridging and bridging). Highest temperature rise will be experienced in the bridging or non-bridging position that has the highest total tap voltage impressed upon the reactor.

The current in these positions is determined by the through-current, as well as by the circulating current and the power factor of the through-current. The type test shall be performed in the position in which the highest total current flows through the tap-changer. The currents are calculated on the following basis:

- through-current equal to 1,2 times the maximum rated through-current;
- circulating current equal to 50 % of the maximum rated through-current (or otherwise specified by the manufacturer and stated in the type test report);
- power factor equal to 80 %.

Refer to Annex A and Annex B for the most onerous conditions for resistor and reactor type tap-changers, respectively, for the majority of contact arrangements.

Meeting these conditions proves the overload capacity as referred to in 4.3.

Table 2 – Contact temperature-rise limits for on-load tap-changers

Contact material	In air K	In SF ₆ K	In liquid K
Plain copper	35	40	20
Silver-faced copper/alloys	65	40	20
Other materials	By agreement	By agreement	20

In SF₆ the maximum allowable contact temperature under overload conditions is 150 °C. When the temperature of SF₆ is controlled by a specific method, the manufacturer shall specify an allowable contact temperature rise, which takes into consideration reduced SF₆ temperature surrounding the OLTC. Subsequent tests by the manufacturer using that method shall verify that the maximum allowable contact temperature of 150 °C will not be exceeded.

When the surrounding medium is liquid, the test shall be performed at a starting liquid temperature of not more than 40 °C and not less than 10 °C.

The temperature of the surrounding medium shall be measured at not less than 25 mm below the contacts.

The temperature shall be measured by thermocouples or other suitable means positioned in a manner to accurately reflect the actual contact temperature as near the point of contact as possible. The measuring device should be embedded into the contact or brazed or welded onto the contact so that it is measuring the bulk temperature of the contact and not the temperature of the interface between contact and cooling medium.

The temperature condition is considered to be steady when the difference of the temperature between the contact and the surrounding medium does not change more than 1 K over an hour.

The cross-section and insulation of the conductor carrying the current into the on-load tap-changer or components under test shall be stated.

5.2.3 Switching tests

5.2.3.1 General

Switching tests which include service duty tests and breaking capacity tests, shall simulate the most onerous conditions for which the on-load tap-changer is rated. Refer to Annex A and Annex B for the most onerous conditions for resistor and reactor type tap-changers, as well as for vacuum-type and non-vacuum type tap-changers, respectively, for the majority of contact arrangements.

For vacuum type on-load tap-changers the breaking capacity test shall be performed after the completion of the service duty test using the identical test sample.

The switching tests may be limited to the diverter or selector switch after proving that the contact operating conditions are not affected by such limitations.

If the diverter or selector switch has several sets of contacts which operate in a definite sequence, it is not permitted to test each set of contacts separately from the others unless it can be proved that the operating conditions of any one set of contacts are not affected by the operation of the other sets of contacts.

Where resistors are used as transition impedances, these may be placed outside the apparatus if necessitated by the construction of the on-load tap-changer or the test circuit, and they may have a higher thermal capacity than those which are employed in service, unless otherwise specified.

The value and type of transition impedance shall be stated.

Contacts and transformer liquid in the case of liquid-immersed tap-changers, shall not be renewed during the tests.

In the case of three-phase switches, it is normally sufficient to test the contacts of one phase.

If a particular on-load tap-changer has more than one combination of rated through-current and rated step voltage, at least two breaking capacity tests shall be performed, one at maximum rated through-current I_{rm} and its relevant step voltage U_{ir} and one at the maximum rated step voltage U_{irm} and its rated through-current I_r .

The switching curve can be drawn using the results of the two tests above and a value of voltage at mid-current calculated from the following formula:

$$\frac{I_{rm} + I_r}{2}(U_x) = \sqrt{U_{ir} I_{rm} \times U_{irm} I_r}$$

The arrangement for testing shall be such that, except where otherwise specified, the switched current, the recovery voltage, or the product of these shall not, in any case, be less than 95 % of the calculated values appropriate to the switching cycle, see Tables A.1 and A.3 and Tables B.1, B.2, B.3 and B.4 at the appropriate through-current and relevant rated step voltage.

5.2.3.2 Service duty test

5.2.3.2.1 General

This test shall be performed in accordance with one of the tests in 5.2.3.2.2 to 5.2.3.2.6, the appropriate method to be decided by the manufacturer. After the tests, inspections of contact wear shall take place, the results of these leaving no doubt as to the suitability of the on-load tap-changer for service. The number of tap-change operations N to be carried out depends on the type of on-load tap-changer. For non-vacuum type on-load tap-changers N shall be 50 000 tap-change operations. In case of vacuum type on-load tap-changers N shall be equal to 1,2 times the number of tap-change operations between maintenance according to the manufacturer's handbook but N shall not be less than 50 000 operations. This number of operations shall be declared by the tap-changer manufacturer.

NOTE The results of this test can be used by the manufacturer to demonstrate that the contacts used for making and breaking current are capable of performing, without replacement of the contacts, the number of tap-change operations declared by the manufacturer at the maximum rated through-current and at the relevant rated step voltage.

For non-vacuum type on-load tap-changers, this test can be combined with the tightness test, see 5.2.7.2.

5.2.3.2.2 Service duty test at rated step voltage

The contacts of the diverter and selector switches shall be subjected to a number of operations corresponding to N tap-change operations in normal service when carrying a current corresponding to not less than the maximum rated through-current and the relevant rated step voltage.

Comparison of oscillograms taken at regular intervals during the test shall show that there is no significant alteration in the characteristics of the on-load tap-changer in such a way as to endanger the operation of the apparatus. Twenty oscillograms shall be taken at the start of the test, and 20 after each succeeding quarter of the number of N ($N/4$) operations, making a total of 100 oscillograms.

NOTE Generally, it is sufficient to compare the series of oscillograms taken at the beginning and at the end of the test.

5.2.3.2.3 Service duty test at reduced step voltage (non-vacuum type on-load tap-changers)

A test at reduced step voltage may be performed under the following conditions:

- a) 100 operations at the maximum rated through-current and the relevant rated step voltage shall be performed with new contacts in clean transformer liquid. Each operation shall be oscillographically recorded;
- b) when the oscillograms taken at a) indicate that no arcing time exceeds $1,2/2f$ s, where f is the rated frequency in hertz, then the number of operations of the service duty test as in d) shall be N ;
- c) when the oscillograms taken at a) indicate that arcing times in excess of $1,2/2f$ s are occurring, then the number of operations of the service duty test as in d) shall be increased by $(2S/100) \times N$ where S is the total number of half cycles of arcing current, in the 100 operations from item a) above, which exceed $1,2/2f$ s;
- d) a service duty test of N operations, increased by the number of operations resulting from item c) if applicable, shall be performed with a current not less than the maximum rated

through-current and at reduced step voltage. This voltage shall be such that the switched current is not less than that occurring during operations at the relevant rated step voltage. Furthermore, current chopping shall not significantly affect the contact erosion. In order to obtain the specified test conditions, the value of the transition impedance shall be suitably modified;

- e) without change of contacts or liquid, 100 operations shall be performed at the maximum rated through-current and the relevant rated step voltage, each operation being oscillographically recorded. Comparison of these oscillograms with those taken in the series of operations under item a) shall show no alteration in the characteristics of the on-load tap-changer which might endanger the operation of the apparatus.

The test sequence specified above is designed to give substantially the same contact erosion as would occur during N operations at maximum rated through-current and the relevant rated step voltage.

5.2.3.2.4 Service duty test at reduced step voltage (vacuum type on-load tap-changers)

A test at reduced step voltage may be performed under the following conditions:

- a) 1 000 operations at the maximum rated through-current and the relevant rated step voltage shall be performed with new contacts in clean transformer liquid. Each operation shall be oscillographically recorded. Arcing times exceeding $1,2/2f$ s shall not occur;
- b) a service duty test of N operations shall be performed with a current not less than the maximum rated through-current and at reduced step voltage. This voltage shall be such that the switched current and the arcing times are not less than those occurring during operations. In order to obtain the specified test conditions, the value of the transition impedance shall be suitably modified;
- c) without change of contacts or liquid, 1 000 operations shall be performed at the maximum rated through-current and the relevant rated step voltage, each operation being oscillographically recorded. Arcing times exceeding $1,2/2f$ s shall not occur. Comparison of these oscillograms with those taken in the series of operations under item a) shall show no alteration in the characteristics of the on-load tap-changer which might endanger the operation of the apparatus.

The test sequence specified above is designed to give substantially the same contact erosion as would occur during N operations at maximum rated through-current and the relevant rated step voltage.

5.2.3.2.5 Service duty test in a synthetic test circuit (vacuum type on-load tap-changers)

5.2.3.2.5.1 General

The service duty test is allowed to be performed in a synthetic test circuit as long as the following requirements are fulfilled:

- the charges dissipated in the arcs shall be at least the same as those gained in an a.c. test circuit;
- the current through the breaking arcs shall be tuned to be substantially sinusoidal and the charge shall be at least that of the corresponding sine half wave and the peak value should be at least 95 % of that of the corresponding sine half wave;
- the polarity of the breaking current in the arcs shall be changed regularly and ending up with almost the same amount of operations with each polarity;
- the arcing times when breaking shall be varied in substantially the same way as in an a.c. test circuit;
- a statistically correct number of operations shall start at a current range equal to the corresponding a.c. r.m.s.-value times $\sqrt{2}$;

- dissipated charges, oscillograms showing the current shapes and arcing time distributions shall be presented in the final report;
- the test can be performed with a recovery voltage or not, see the paragraphs below;
- for contacts closing with a voltage across the contacts before closing, a making voltage shall be applied across the contacts in due time before closing the contacts to gain the correct closing conditions;
- when the pre-arc starts, the current obtained shall correspond to that in real service both regarding value and derivative;
- the polarity of the making voltage shall be changed regularly and ending up with almost the same amount of operations with each polarity;
- the making voltage has to be varied in substantially the same way as in an a.c. test circuit;
- oscillograms and data showing the making conditions shall be presented in the final report;
- in case of having more than one set of contacts operating in a sequence, these contacts are allowed to be tested in this circuit separately after each other. However, all set of contacts have to be operated to achieve the correct mechanical properties (such as velocity, bouncing, etc.).

5.2.3.2.5.2 Synthetic test circuit without recovery voltage

After the $1,2 \times N$ operations have been carried out, and before the breaking capacity test, 1 000 operations at full step voltage in an a.c. test circuit shall be performed as in 5.2.3.2.4. No arcing times exceeding $1,2/2f$ s are allowed.

5.2.3.2.5.3 Synthetic test circuit with recovery voltage

The recovery voltage applied after the arc is extinguished is allowed to be a d.c. voltage or an a.c. voltage.

In case of an a.c. recovery voltage, this shall be substantially sinusoidal and having at least the same derivative during voltage rise as the corresponding sine half wave and reach at least 95 % of the peak value of the corresponding sine half wave.

In case of a d.c. recovery voltage, the voltage shall be applied not later than 0,1 ms after the arc is extinguished. The level of the applied d.c. voltage shall be the same as the peak value of the true a.c. recovery voltage.

The recovery voltage should be of opposite polarity to that of the previous arc.

In case of re-ignitions of the arc exceeding $1,2/2f$ s, the following applies:

- the charge dissipated in the arc following the re-ignition, shall be at least that in an a.c. test circuit or
- the number of such re-ignitions shall be counted and a number of additional operations equal to twice as many as having arcing times exceeding $1,2/2f$ s shall be carried out.

For example, see Annex E.

5.2.3.2.6 Service duty test for selector switches

The tests may be performed as specified in either 5.2.3.2.2 to 5.2.3.2.5, whichever is applicable.

In order to approximate to service conditions, non-vacuum type selector switches shall have the test performed at not more than eight tap-change operations, these being centrally disposed about the change-over selector if such is incorporated in the tap-changer design (mid-position plus/minus 4 positions, without dead positions).

In case of vacuum type selector switches, the breaking action will take place within the vacuum interrupters and does not depend on the tap-changer position. Therefore, the above-mentioned approximation to the service conditions is not required.

When non-vacuum type selector switches are designed for operating cycle number 2 switching and no restrictions are made regarding operation sequence or load direction, the most onerous sequence according to Annex A should be applied.

When non-vacuum type selector switches are designed for operating cycle number 2 switching, and restrictions for use are such that the operation sequence and load direction will result in operation in the least onerous direction only according to Annex A, the test shall be performed with $N/2$ operations at full load parameters and $N/2$ at no-load parameters.

5.2.3.3 Breaking capacity test

Forty operations under the most onerous conditions (see Annex A and Annex B) shall be performed at a current corresponding to twice the maximum rated through-current and at its relevant rated step voltage.

In order to approximate to service conditions, non-vacuum selector switches shall have the test performed at not more than eight tap-change operations, these being centrally disposed about the change-over selector if such is incorporated in the on-load tap-changer design (mid-position plus/minus 4 positions, without dead positions).

In case of vacuum type selector switches, the breaking action will take place within the vacuum interrupters and depends not on the tap-changer position. Therefore, the above mentioned approximation to the service conditions is not required.

The oscillograms taken for each operation shall indicate that in no case is the arcing time such as to endanger the operation of the apparatus.

For resistor type tap-changers, the breaking capacity test shall be performed, if possible, with a transition resistor of the same thermal and ohmic design as that to be employed in service. If this is not possible, the impedance as used in service shall be tested separately in accordance with 5.2.5.1, but with twice the maximum rated through-current for one operation only.

For vacuum type on-load tap-changers the breaking capacity test shall be performed after the completion of the service duty test using the identical test sample.

5.2.3.4 Requirements for special types of vacuum type on-load tap-changers

To cover the decrease of dielectric strength (only in cases where the VI is the only insulating distance between selected and preselected tap) the tests have to be carried out in the following order:

- a) service duty test;
- b) breaking capacity test;
- c) dielectric test between diverter switch contacts in their final open position with the full wave lightning impulse only at 80% of the rated values (see 5.2.8.2, e)).

5.2.3.5 Simulated a.c. test circuits

The tests in 5.2.3.2.2, 5.2.3.2.3, 5.2.3.2.4 and 5.2.3.3 may be performed with simulated test circuits provided it is proved that the test conditions are substantially equivalent. Two simulated test circuits that are relevant for resistor type tap-changers only are described in Annex D.

5.2.4 Short-circuit current test

All contacts of different design carrying current continuously shall be subject to short-circuit currents, each of 2 s ($\pm 10\%$) duration. In the case of liquid immersed on-load tap-changers, the test shall be performed in transformer liquid.

In the case of three-phase on-load tap-changers, it is sufficient to test the contacts of one phase only unless otherwise specified.

Three applications shall be made with an initial peak current of 2,5 ($\pm 5\%$) times the r.m.s. value of the rated short-circuit test current. The contacts shall not be moved between these applications.

When there are no facilities for point-on-wave switching and it is not possible to obtain three short-circuit applications with initial peak current 2,5 times the r.m.s. value, the following test may be used.

The r.m.s. value of the short-circuit test current may be increased so that the rated peak current is obtained for the three applications and the test duration reduced. When using this method, the product of the square of the increased r.m.s. current and the shorter test duration shall be not less than the product of the square of the rated short-circuit r.m.s. current and the two second duration.

The values of the short-circuit test current to be applied shall be as given in Figure 1.

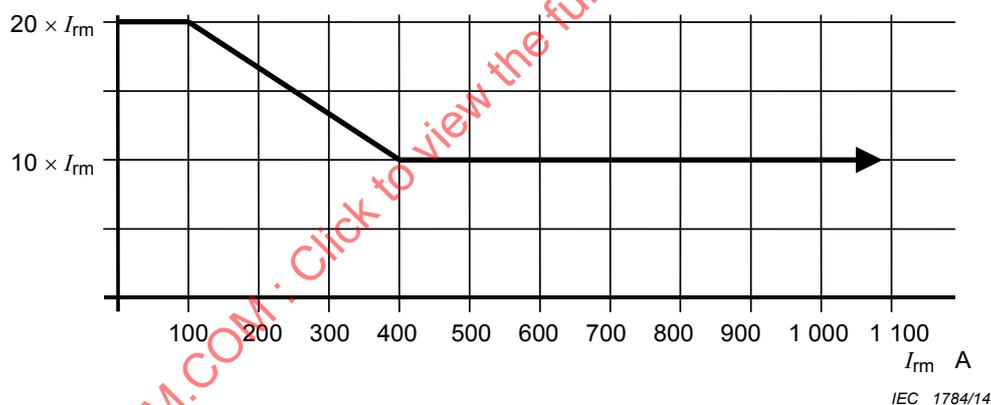


Figure 1 – Short-circuit test current (r.m.s. value) as a multiple of the maximum rated through-current (on-load tap-changer)

The open-circuit voltage for the test shall be at least 50 V.

At the conclusion of the test, the contacts shall not have been damaged so as to prevent continuing correct operation at maximum rated through-current. This has to be proven for a diverter switch or selector switch by a no load operation, oscillographically recorded, breaking any created weld. Comparison of this oscillogram with those obtained before the test shall show suitability for service. For a motor-driven sliding contact such as tap selector or change-over selector contacts, the initial operating torque shall be measured before and after the test and show suitability for service.

Other current-carrying parts shall not show signs of permanent mechanical distortion, which can influence the normal operation of the tap-changer.

For reactor type tap-changers, the short-circuit current is divided into two equal parts at the tap selector or selector switch contacts and the transfer or bypass contacts. Therefore, the current carried by each contact will be only 50 % of the full test current.

Short-circuit test parameters of step-voltage regulators in IEC 60076-21 take precedence.

5.2.5 Transition impedance test

5.2.5.1 Transition resistors

To meet the overload requirements of 4.3, the test shall be performed with 1,5 times the maximum rated through-current at the relevant rated step voltage.

The resistor shall be mounted in the on-load tap-changer as in service.

The resistor shall be loaded by operating the on-load tap-changer. The number of operations shall be equivalent to one-half of a cycle of operation. The operations shall be uninterrupted with the driving mechanism operating at its normal speed.

The temperature of the resistor at the final operation shall be recorded and determined.

The temperature rise above the surrounding liquid at 1,5 times maximum rated through-current shall not exceed 400 K for externally mounted on-load tap-changers (compartment type on-load tap-changers) or 350 K for internally mounted on-load tap-changers (in-tank on-load tap-changers).

In the case of gas immersed on-load tap-changers, the allowable temperature-rise limits depend on the nature of the gas insulation used and the materials which are in contact with or the surrounding area of the transition resistors. Gas immersed on-load tap-changers which are not encapsulated in a gas tight housing shall not be used in hazardous environments.

However, the temperature of resistors and of parts adjacent to them shall be limited to a value so that the characteristics of the assembly are not affected.

If it is not practicable to determine the temperature of the transition resistor according to the above, the method given in Annex C may then be employed.

The transition resistors shall also be tested with a current equal to at least the maximum value that would flow during the breaking capacity test at twice the maximum rated through-current and relevant rated step voltage. This test can be included in the breaking capacity test (5.2.3.3) or done as a separate test. This test is successful if the value of the resistors, measured before and after the test, should be within $\pm 10\%$ and the overall condition of the resistors shall be such that continuous service is permissible.

In cases where the rated through-current or the relevant rated step voltage is different from the maximum rated through-current and the relevant rated step voltage, it is permissible to calculate the thermal rating of the resistor from the results of the type test.

5.2.5.2 Transition reactors

Transition reactors are normally tested in accordance with the specification for the transformer with which the on-load tap-changer is intended for use.

Precautions should be taken in the design of the transition reactors to avoid high inrush currents during switching.

5.2.6 Mechanical tests

5.2.6.1 Simulation of the transformer drying procedure

To simulate a transformer drying process, the on-load tap-changer shall run through a drying procedure during type test prior to the mechanical tests listed in 5.2.6.2 to 5.2.6.5. The drying procedure and type of drying shall be declared by the manufacturer of the OLTC.

For example maximum temperatures, maximum temperature rate of rise, time sequence and vacuum level shall take into account conventional drying methods. Limitations to any of the variables shall be declared by the manufacturer of the OLTC to avoid stresses, which exceed the design characteristics of the OLTC and can result in abnormal deformation.

5.2.6.2 Mechanical endurance test

If the on-load tap-changer is of liquid-immersed design, it shall be assembled and filled with clean liquid or immersed in a test tank filled with clean liquid, and operated as for normal service conditions. The contacts shall not be energized and the full range of taps shall be utilized until a minimum of 500 000 tap-change operations have been performed. At least 50 000 tap-change operations shall be carried out on the change-over selector.

If the number of operations carried out during the service duty test is higher than or equal to the requested 500 000 operations during mechanical endurance test, it is allowed to use these operations for the verification of the 500 000 operations, provided that all test conditions fit.

For compartment type on-load tap-changers, this test may be performed at ambient temperature. For in-tank on-load tap-changers, half the number of operations shall be performed at a temperature of not less than 75 °C and half at a lower temperature, for example during the heating or cooling period, with daily temperature cycles being permitted.

Ten timing oscillograms for the diverter switch and tap selector or the selector switch, and if applicable for the change-over selector, shall be taken at the start and at the end of the mechanical endurance test. Comparison of these timing oscillograms shall show no significant difference.

For liquid immersed in-tank tap-changers, 100 operations shall be performed with the diverter switch at 115 °C and with the tap selector at 105 °C or with the selector switch at 115 °C to demonstrate the capability to withstand the mineral insulating oil temperatures during emergency loading as stated in 4.3. There are selector switch designs where the change-over selector is mounted beneath the selector switch compartment. In those cases it is allowed to test the change-over selector at 105 °C. The operation of the diverter switch or selector switch shall be oscillographically recorded. Comparison of these oscillograms with those obtained at the start and the end of the mechanical endurance test shall show suitability for service.

For both in-tank and compartment type on-load tap-changers, 100 operations shall be performed at –25 °C, with the diverter switch only or with a selector switch, and the operation of the diverter switch or selector switch oscillographically recorded. Comparison of these oscillograms with those obtained in accordance with the previous paragraph shall show suitability for service. The viscosity at –25 °C of the liquid used in this test shall be stated.

Because of the higher viscosity of currently available alternative liquids (such as ester fluids (natural or synthetic) or silicon fluids), the test at –25 °C is not applicable for those liquids. The tap-changer manufacturer has to be consulted on the minimum allowable temperature.

During the test, there shall be no failure or undue wear of the contacts or mechanical parts that would lead to mechanical failure if operation continued.

Normal maintenance according to the manufacturer's handbook is permitted during the test.

It is permitted to perform this mechanical endurance test separately on diverter switches, selector switches, tap selectors, or other components of the on-load tap-changer, provided that in each case the operation duplicates mechanically its normal service condition.

NOTE The surrounding mediums declared suitable for operation can typically be mineral insulating oil, alternative liquids (such as ester fluids (natural or synthetic) or silicon fluids), air and other gases.

5.2.6.3 Sequence test

With the on-load tap-changer assembled as in service and, if of liquid-immersed design, in clean transformer liquid, it shall be operated over one complete cycle of operations. With the contacts energized at the voltage of the recording equipment, the exact time sequence of operation of the tap selector, change-over selector, diverter switch or selector switch, as appropriate, shall be recorded.

5.2.6.4 Operation under maximum allowable static pressure

5.2.6.4.1 General

For both compartment and in-tank type on-load tap-changers of vacuum type only, 100 operations shall be performed at ambient temperature at the highest and lowest allowed pressure stated by the manufacturer. These tests can be performed on the diverter switch only or selector switch and the operation of the diverter switch or selector switch oscillographically recorded. Comparison of these oscillograms with those obtained in normal atmospheric pressure at ambient temperature shall show suitability for service.

5.2.6.4.2 Liquid immersed tap-changers

This test has to be carried out at a temperature of the surrounding liquid of not more than 40 °C. If there are no significant differences between the switching times gained without additional static pressure and maximum static pressure, the test is valid for the whole temperature range.

The manufacturer shall declare his values.

5.2.6.4.3 Gas immersed tap-changers

This test has to be carried out at a temperature of the surrounding gas of 80 °C. If there are no significant differences between the switching times gained without additional static pressure and maximum static pressure, the test is valid for the whole temperature range.

The manufacturer shall declare his values.

5.2.6.5 Pressure and vacuum tests

Appropriate tests shall be performed on the compartment and bushings of the on-load tap-changer to prove pressure and vacuum withstand values and the continued correct operation of the tap-changer. The manufacturer shall declare his pressure and vacuum values.

The external pressure test in addition to the internal pressure test shall be performed on the gas immersed tap-changer. This external pressure shall be at least 125 kPa higher than the pressure estimated at maximum temperature in the transformer main tank or container.

5.2.7 Tightness test

5.2.7.1 General

Appropriate tests shall be performed on compartments and bushings of the on-load tap-changer to prove the tightness. The manufacturer shall declare his values.

5.2.7.2 Tightness test during the service duty test

The tightness of the diverter or selector switch compartment shall be verified by a test. This test can be made at the same time as the service duty test or as a separate test as stated in 5.2.7.3.

The liquid immersed switching compartment tightness shall be verified by means of dissolved and free gases analysis (DGA).

The diverter switch or selector switch compartment shall be attached to a closed container in the same way as it is to the transformer. The volume of the container shall not exceed 10 times that of the switch compartment.

The mineral insulating oil in the diverter switch or selector switch compartment shall have a pressure of at least 20 kPa above the container pressure.

From the container, mineral insulating oil samples shall be taken at the beginning and at the end of the test. The results of the gas-in-oil analysis shall not show an increase greater than 10 ppm (by volume) of the gases usually developed during operations of on-load tap-changers, namely hydrogen (H_2), methane (CH_4), ethylene (C_2H_4), acetylene (C_2H_2) and ethane (C_2H_6).

The mineral insulating oil in the closed container should be degassed before the start of the test.

Diverter switches and selector switches employing vacuum interrupters or other devices preventing arcing to occur in the insulating liquid are not required to carry out the above tightness test providing the manufacturer can demonstrate that no other arcing takes place within the diverter/selector switch compartment.

5.2.7.3 Separate tightness test

The diverter or selector switch compartment may be tested separately as an alternative to the test described in 5.2.7.2.

The liquid immersed switching compartment tightness shall be verified by means of dissolved and free gases analysis (DGA).

The diverter switch or selector switch compartment shall be attached to a closed container in the same way as it is to the transformer. The volume of the container shall not exceed 10 times that of the switch compartment.

The mineral insulating oil in the diverter switch or selector switch compartment shall:

- have a pressure of at least 20 kPa above the container pressure;
- be doped by acetylene (C_2H_2) to a level of at least 100 000 ppm (by volume).

With the diverter switch or selector switch fully assembled, but without the contacts energized, the on-load tap-changer shall be manoeuvred for 50 000 operations. The test time shall be at least 2 weeks.

From the container, mineral insulating oil samples shall be taken at the beginning and at the end of the test. The results of the dissolved and free gases analysis (DGA) shall not show an increase greater than 10 ppm of acetylene (C₂H₂).

The mineral insulating oil in the closed container should be degassed before the start of the test.

Diverter switches and selector switches employing vacuum interrupters or other devices preventing arcing to occur in the insulating liquid are not required to carry out the above tightness test providing the manufacturer can demonstrate that no other arcing takes place within the diverter/selector switch compartment.

5.2.7.4 Tightness test for gas immersed on-load tap-changers

The switching operation of vacuum interrupters can be compromised by increase of pressure external to the interrupters. Therefore, the tightness test shall show that no gas penetration occurs from the main transformer tank into the diverter switch compartment. This shall be verified with an external pressure test at the beginning and end of the type test. The external pressure test shall be done under at least 125 kPa higher external pressure than that pressure estimated at 20 °C temperature in the transformer main tank or container. In addition, it shall be verified that the amount of penetrated gas has no influence on the long term switching operation.

5.2.8 Dielectric tests

5.2.8.1 General

The dielectric requirements of an on-load tap-changer depend on the transformer winding to which it is to be connected.

The transformer manufacturer shall be responsible not only for selecting an on-load tap-changer of the appropriate insulation level, but also for the insulation level of the connecting leads between the on-load tap-changer and the windings of the transformer.

On-load tap-changers for liquid-immersed designs shall be filled with clean transformer liquid or immersed in a test tank filled with clean transformer liquid before the tests detailed in 5.2.8.2 are performed.

Table 3 – Test voltage levels for on-load tap-changers

Highest voltage for equipment <i>U_m</i> kV	Full wave lightning impulse kV	Chopped wave lightning impulse kV	Switching impulse kV	Applied voltage kV
< 1,1	-	-	-	3
3,6	40	44	-	10
7,2	75*	83*	-	20
12	110*	121*	-	34*
17,5	125*	138*	-	38
24	150*	165*	-	50
36	200*	220*	-	70
52	250	275	-	95
72,5	350*	385*	-	140
100	450	495	375*	185

Highest voltage for equipment U_m kV	Full wave lightning impulse kV	Chopped wave lightning impulse kV	Switching impulse kV	Applied voltage kV
123	550	605	460*	230
145	650	715	540*	275
170	750	825	620*	325
245	1 050	1 155	850*	460
300	1 050	1 155	850	460
362	1 175	1 290	950	510
420	1 425	1 570	1 175*	630
550	1 675*	1 845*	1 390*	680
800	2 100	2 310	1 675*	-
1 100	2 250	2 475	1 800	-
1 200	2 250	2 475	1 800	-

NOTE Values marked with an asterisk (*) are not given in IEC 60076-1:2011 for the particular value of U_m but are included either because they represent common practice in some parts of the world or for some switching impulse levels, because they represent a co-ordinated value for a particular value of lightning impulse level (see IEC 60076-3:2013).

5.2.8.2 Nature of tests

The insulation level of the on-load tap-changer shall be proved by dielectric tests performed at the following distances:

- to earth;
- between phases (where applicable);
- between the first and last contacts of the tap selector or selector switch and, where fitted, of the change-over selector;

NOTE In case of designs, where the fixed contacts are arranged in a straight line, this test is not applicable.

- between any two adjacent contacts of the tap selector or selector switch or any other contacts relevant to the on-load tap-changer contact configuration;
- between diverter switch contacts in their final open position.

In case of vacuum type tap-changers, where any of the vacuum interrupters are open in their final open position and represent the only insulating distance between selected and pre-selected tap, item e) of the above listed dielectric tests has to be repeated after the service duty test with full wave lightning impulse only at 80 % of the rated values (see 5.2.3.4).

5.2.8.3 Test voltages

– Class I

For test a), the test voltages shall comply with appropriate values from Table 3. For tests b), c), d) and e), appropriate withstand values of full and chopped wave lightning impulse voltage, applied voltage and if applicable of switching impulse shall be declared by the manufacturer of the on-load tap-changer.

– Class II

For tests a) and b), test voltage shall comply with the appropriate values from Table 3. For tests c), d) and e), appropriate withstand values of full and chopped wave lightning impulse, applied voltage and, if applicable of switching impulse, shall be declared by the manufacturer of the on-load tap-changer.

The values in Table 3 are the highest selected test voltages for U_m and are based on Clause 7 of IEC 60076-3:2013. Table 3 should be used for selecting the test levels for 5.2.8.5 through 5.2.8.9.

5.2.8.4 Application of test voltages

For the dielectric tests, the on-load tap-changer shall be assembled, arranged and dried-out in a manner similar to that in service. It is not, however, necessary to include leads for connecting the on-load tap-changer to the windings of a transformer. If using leads they should be an approximation of that in service. Tests may be performed on separate components provided it can be shown that the same dielectric conditions apply.

For test a) of 5.2.8.2 when applied to class I and class II on-load tap-changers and test b) of 5.2.8.2 when applied to class II on-load tap-changer, the live parts of each phase shall be short-circuited and connected either to the voltage source or to the earth as appropriate.

Where the on-load tap-changer incorporates external air insulation to earth, this external insulation shall be proved in accordance with the relevant tests described in IEC 60137.

The preferred testing sequence is as follows:

- full wave lightning impulse test;
- chopped wave lightning impulse test;
- switching impulse test, when required;
- applied voltage test;
- measurement of partial discharges, when required.

5.2.8.5 Full wave lightning impulse test (LI)

The test impulse shall be a full standard lightning impulse ($1,2 \mu\text{s} \pm 30\%$ / $50 \mu\text{s} \pm 20\%$) with a maximum overshoot of 5%. The tolerance on the test voltage value is $\pm 3\%$. Each test shall comprise three voltage applications of positive polarity and three voltage applications of negative polarity, at the required value.

5.2.8.6 Chopped wave lightning impulse test (LIC)

The wave shape of the full wave impulses shall be as given in 5.2.8.5. The chopped wave lightning impulse shall have a time chopping between $3 \mu\text{s}$ and $6 \mu\text{s}$. The time to first voltage zero after the instant of chopping shall be as short as possible. Each test shall comprise three voltage applications of positive polarity and three voltage applications of negative polarity, at the required value.

NOTE As an alternative, this requirement can be fulfilled carrying out a full wave lightning impulse test with the test values of the chopped wave lightning test.

5.2.8.7 Switching impulse test (SI)

This test is applicable to on-load tap-changers of U_m 100 kV and above. The test shall be made between the live and earthed parts of the on-load tap-changer. The test configuration shall be stated by the on-load tap-changer manufacturer. The impulse shape shall be 250/2500 as specified in IEC 60060-1. Each test shall comprise three voltage applications of positive polarity and three voltage applications of negative polarity, at the required value.

5.2.8.8 Applied voltage test (AV)

The test shall be performed with a single-phase alternating voltage in accordance with IEC 60060-1, at the required value. The duration of each test application shall be 60 s.

5.2.8.9 Measurement of partial discharges

This test is not required on class I tap-changers.

For class II on-load tap-changers a test shall also be made between live parts and earthed parts of the tap-changer.

For class II on-load tap-changers combining more than one phase in one unit (see example in IEC 60214-2) a test shall be made between the phases, which are adjacent in the tap-changer. The test sequence described below can be used for measurement of partial discharges between phases as well, however, the reference value $U_m / \sqrt{3}$ shall be exchanged with U_m .

The test configuration shall be stated by the on-load tap-changer manufacturer. The screening of terminals to which tap leads will be connected is permissible.

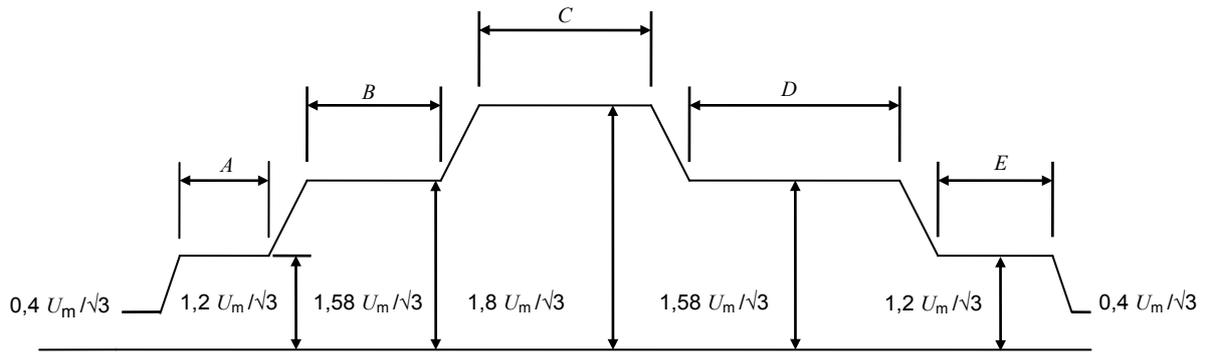
The test shall be performed with a single-phase alternating voltage in accordance with IEC 60060-1.

The test sequence shall be as follows:

- the voltage shall be switched on at a level not higher than $0,4 U_m / \sqrt{3}$;
- the background PD measurement shall be measured and recorded;
- the voltage shall be raised to $1,2 U_m / \sqrt{3}$ and held there for a minimum duration of 1 min;
- the PD level shall be measured and recorded;
- the voltage shall be raised to $1,58 U_m / \sqrt{3}$ and held there for a minimum duration of 5 min;
- the PD level shall be measured and recorded;
- the voltage shall be raised to the enhancement voltage $1,8 U_m / \sqrt{3}$ and held there for a duration of 60 s in case $U_m \leq 800$ kV and 300 s in case $U_m > 800$ kV;
- immediately after the test time, the voltage shall be reduced without interruption to $1,58 U_m / \sqrt{3}$;
- the PD level shall be measured and recorded;
- the voltage shall be held at $1,58 U_m / \sqrt{3}$ for a duration of at least 60 min;
- the PD level shall be measured and recorded every 5 min during the 60 min period;
- after the last PD measurement in the 60 min period, the voltage shall be reduced to $1,2 U_m / \sqrt{3}$ and held there for a minimum duration of 1 min;
- the PD level shall be measured and recorded;
- the voltage shall be reduced to $0,4 U_m / \sqrt{3}$;
- the background PD measurement shall be measured and recorded;
- the voltage shall be reduced to a value below $0,4 U_m / \sqrt{3}$;
- the voltage shall be switched off.

The partial discharge level shall be continuously observed on at least one measuring channel for the entire duration of test.

The duration of the test shall be as shown in Figure 2.



IEC 1785/14

Key

$A = 1 \text{ min}$

$B = 5 \text{ min}$

$C = 60 \text{ s}$ in case $U_m \leq 800 \text{ kV}$ and 300 s in case $U_m > 800 \text{ kV}$

$D = 60 \text{ min}$

$E = 1 \text{ min}$

Figure 2 – Time sequence for the application of test voltage (on-load tap-changer)

Partial discharges shall be measured by a method according to IEC 60270.

Each PD measurement channel including the associated coupling capacitor shall be calibrated in terms of apparent charge (pC) according to the method given in IEC 60270.

The PD measurement shall be given in pC and shall refer to the highest steady-state repetitive impulses indicated by the measuring instrument.

Occasional bursts of high PD level may be disregarded.

The test can only be considered valid if the measured background PD level does not exceed 10 pC at both the beginning and the end of the test.

The test is successful if all the following criteria are fulfilled:

- a) no collapse of the test voltage occurs;
- b) the continuous level of partial discharges does not exceed 50 pC during the 60 min period (duration D);
- c) the PD behaviour shows no continuously rising tendency and no sudden sustained increase in the levels occur during the last 20 min of the 60 min period (duration D);
- d) the PD level at a voltage of $1,2 U_m/\sqrt{3}$ after the 60 min period does not exceed 30 pC.

If the criterion c) is not met, the 60 min period may be extended and this criterion will be considered to have been met if it is fulfilled for a continuous period of 60 min.

NOTE The above test procedure is equivalent to the partial discharge test specified in 11.3 of IEC 60076-3:2013.

5.2.9 Type-test certificate

The certificate shall include:

- full details of the test arrangements adopted (for example, assembly, arrangement and drying out) with explanatory sketches as necessary;
- full details of all tests applied in accordance with 5.2.2 to 5.2.8;
- full details of limiting devices for transient overvoltages, where appropriate, see 5.1.5;
- photographs of all contacts breaking and commutating currents.

The erosion of the contacts in the vacuum interrupters and any other current commutating contacts shall be presented and shall not exceed the limits according to the manufacturer's specifications. No signs of arcs on contacts not intended to have arcs are allowed.

5.3 Routine tests

5.3.1 General

The following routine tests shall be performed on each completed on-load tap-changer:

- mechanical test (5.3.2);
- sequence test (5.3.3);
- auxiliary circuits insulation test (5.3.4);
- pressure and vacuum tests (5.3.5).

NOTE Attention is drawn to tests to be carried out on on-load tap-changers after assembly on transformers, which are detailed in 11.7 of IEC 60076-1:2011.

5.3.2 Mechanical test

With the on-load tap-changer fully assembled but without the contacts energized, ten complete cycles of operation shall be performed without failure.

5.3.3 Sequence test

During the routine mechanical test in 5.3.2, a sequence of operations of the on-load tap-changer shall be recorded, the operation of the diverter or selector switch being recorded oscillographically. The results of this recording shall be substantially in agreement with those of the sequence type test from 5.2.6.3.

5.3.4 Auxiliary circuits insulation test

The tap-changer auxiliary circuits shall withstand without failure a separate source a.c. withstand voltage test of 2 kV applied for 1 min between all live terminals and the frame.

5.3.5 Pressure and vacuum tests

All liquid or gas containing compartments shall be tested at a pressure and vacuum declared by the manufacturer.

6 Requirements for motor-drive mechanisms for on-load tap-changers

6.1 General requirements

6.1.1 Compliance of component parts

Unless otherwise specified, component parts of motor-drive mechanisms shall comply with the relevant IEC standard.

6.1.2 Permissible variation of auxiliary supply

The driving motor and the control equipment of the motor-drive mechanism shall be designed to operate satisfactorily between 85 % and 110 % of the rated supply voltage (a.c. and d.c. voltage), the frequency, in the case of a.c. voltage, being the rated supply frequency.

The standard values of rated a.c. supply frequency are 50 Hz and 60 Hz.

6.1.3 Step-by-step control

The step-by-step circuit shall be designed in such a way as to operate the on-load tap-changer by one complete voltage step only in the case of signals which may be continuous or immediately repetitive as well as simultaneous from separate sources within one tap-change operation. This requirement applies also in the case of earth faults or interruption of a control wire.

6.1.4 Tap position indicator

Clear and reliable indication of the tap position of the on-load tap-changer shall be provided. It shall be possible to easily check the state of the tap position of the position-indicating device when operating locally.

If required, a remote position transmitter may be provided for indicating the tap position at a remote location.

6.1.5 Tap-change in progress indication

If required, a suitable device may be fitted to operate a means of indicating at a remote point that the motor-drive mechanism is performing a tap-change operation.

6.1.6 Limiting devices

The limiting device shall prevent the overrun of the permissible operation range of the on-load tap-changer.

The motor-drive mechanism shall be provided with a limiting device that prevents an effect of control impulses beyond the end position and stops the drive in case of initiation of a tap-change operation beyond the end position respectively.

Additionally, a mechanical limit device shall be incorporated in either the on-load tap-changer or the motor-drive mechanism. No damage shall be caused when reaching the mechanical end stop.

6.1.7 Parallel control devices

Provision of the necessary devices shall be agreed, the purchaser being responsible for ensuring that the correct requirements are specified.

6.1.8 Direction of rotation protection

If required, a device for the prevention of incorrect rotation of three-phase motors may be fitted by agreement between the manufacturer and purchaser.

6.1.9 Overcurrent blocking device

If required by the operational conditions of the transformer, an overcurrent blocking device may be fitted by agreement between manufacturer and purchaser.

6.1.10 Restarting device

If required, a device may be provided which, after a possible interruption of the supply voltage, will complete a tap-change operation once it has been initiated.

6.1.11 Operation counter

Operation counters shall be suitable for their intended duty in terms of environmental conditions and for the number of operations specified for the on-load tap-changer. The number of operations of the on-load tap-changer can be provided as an electrical information (stored in a memory) or with a six-figure or greater non-resettable counter.

If required, a device indicating the number of operations shall be provided (in case of electrical information).

6.1.12 Manual operation of the motor-drive mechanism

A device shall be provided which, in the event of power supply failure of the motor-drive mechanism, facilitates a tap-change operation of the on-load tap-changer. The device shall ensure a blocking of the motor-drive mechanism to prevent unintended operation (e.g. remote control, voltage recovery, etc.).

The direction of rotation and further instructions shall be indicated adjacent to the point of engagement.

The design of the device should permit the operation by one person without undue effort.

NOTE This subclause does not apply to step-voltage regulators as defined in IEC 60076-21.

6.1.13 Motor-drive cubicle

The motor-drive cubicle shall meet the protection requirements of IP44 according to IEC 60529 and shall be protected against condensation by suitable means.

If required, higher degrees of protection according to IEC 60529 may be agreed between manufacturer and purchaser.

6.1.14 Protective device against running-through

A device to prevent the motor-drive mechanism from running through in case of failure of the step-by-step control circuit shall be provided.

6.1.15 Protection against access to hazardous parts

Driving mechanism cubicles fitted with doors shall continue to provide protection to at least category IP1X (according to IEC 60529) with any door open.

NOTE This will provide protection against accidental "back of the hand" contact as a minimum.

External drive shafts shall be protected with guards.

6.2 Type tests

6.2.1 Mechanical load test

The motor-drive mechanism output shaft shall be loaded by the largest torque on-load tap-changer for which it is designed or by an equivalent simulated load torque cycle, based on service conditions. At such a load, 500 000 operations shall be performed across the whole tap range.

Additional cooling of the motor-drive is permissible during this test.

During this test, performed at rated frequency:

- 10 000 operations shall be performed at the minimum voltage as specified in 6.1.2;
- 10 000 operations at the maximum voltage as specified in 6.1.2;
- 100 operations shall be performed at a temperature of $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. The temperature inside the motor-drive cabinet when the test starts shall be not higher than $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. The motor-drive mechanism shall be tested at rated voltage and rated frequency. The temperature inside the cabinet shall be measured during the test and stated in the test report.

The correct functioning of the devices covered by 6.1.6, 6.1.10, 6.1.11, 6.1.12 and 6.1.14 shall be verified during this test. The test shall be completed without failure or any undue wear of the mechanical parts.

Normal maintenance according to the manufacturer's handbook is permitted during the test.

During the test, the heating system of the motor-drive mechanism shall be switched off.

6.2.2 Overrun test

It shall be demonstrated that in the event of a failure of the limiting device of the motor-drive mechanism, the additional mechanical limiting device of the motor-drive mechanism or the on-load tap-changer prevent operation beyond the end positions when a motorized tap-change operation is performed. No electrical or mechanical damage shall occur.

6.2.3 Degree of protection of motor-drive cubicle

When applicable, the motor-drive cubicle shall be tested in accordance with IEC 60529.

6.3 Routine tests

6.3.1 Mechanical tests

The motor-drive mechanism in the service condition or with an equivalent simulated load shall be operated electrically for ten cycles of operation without failure. During this test, correct functioning in accordance with any requirements of 6.1.6, 6.1.10, 6.1.11, 6.1.12 and 6.1.14 shall be checked.

After the above test, two further cycles of operation shall be performed, one at the minimum and one at the maximum level of the rated voltage of the auxiliary supply. These shall be performed without failure.

NOTE The mechanical tests can be performed on the motor-drive mechanism separately or as in 5.3.2.

6.3.2 Auxiliary circuits insulation test

Auxiliary circuits, except the motor and other elements which are to be tested with lower test voltages according to the appropriate IEC standards, shall be subjected to a separate source a.c. withstand test of 2 kV r.m.s applied for 1 min between all live terminals and the frame.

7 Requirements for de-energized tap-changers

7.1 General requirements

7.1.1 Rated characteristics

The rated characteristics are as follows:

- maximum rated through-current;
- maximum rated step voltage;
- rated frequency;
- rated insulation level.

7.1.2 Types

De-energized tap-changers may comprise of hand or motor-drive operated mechanical rotary or linear switches.

7.1.3 Handles and drives

Handles used as drive mechanisms are typically hand-wheels or hand cranks and are either directly fitted to the de-energized tap-changer for transformer lid mounting, fitted to the de-energized tap-changer head cover or fitted to a remote gland housing mounted on the outside of the transformer. In the latter case, they are connected to the de-energized tap-changer for example by means of drive shafts or cables.

The operating handle for hand operated de-energized tap-changers shall be mounted externally.

The tap position shall be clearly indicated when the de-energized tap-changer is fully on position. The direction of rotation for raising and lowering the tap position shall be clearly indicated. In addition, the number of rotations for one tap-change operation shall be given where applicable.

A system shall be provided to positively latch the DETC in service position to carry full operating current.

7.1.4 Glands

All sealing glands of the de-energized tap-changer between the liquid or gas filled transformer or tap-changer tank and the environment shall be liquid or gas tight.

7.1.5 Interlocks

A safety device shall be provided to prevent the equipment from being actuated unintentionally or by unauthorized personnel. Such a device may consist of a locking device at the manual drive mechanism which requires a deliberate act by the operator to remove it.

Solely when the de-energized tap-changer is in a proper position state, it shall be possible to operate, remove or reinstall the safety device.

If a motor-drive mechanism is used to operate the de-energized tap-changer, preference shall be given to automatic interlocks by means of electrical interlocking circuits.

7.1.6 Mechanical end stops

It shall not be possible to operate the de-energized tap-changer past the end of range to an unselected position. Where the number of selectable positions may vary, mechanical end stops or a mechanical means shall be incorporated into either the selector or the manual drive mechanism to prevent operation past the first and last positions.

7.2 Type tests

7.2.1 General

The following type tests shall be performed on samples of the relevant de-energized tap-changers after their final development or on equivalent components provided that the manufacturer can demonstrate that the relevant test conditions and results are not influenced by testing only components instead of the complete tap-changer.

NOTE No differentiation has to be made with respect to the test supplies with frequencies of 50 Hz or 60 Hz. The tests can be carried out with either frequency.

- temperature rise of contacts (7.2.2);
- short-circuit current test (7.2.3);
- mechanical tests (7.2.4);
- dielectric tests (7.2.5).

7.2.2 Temperature rise of contacts

Tests shall be performed to verify that the temperature rise above the medium surrounding each type of contact which carries current continuously in service does not exceed the values given in Table 4 when the contacts have reached a steady temperature when carrying 1,2 times the maximum rated through-current.

Meeting this condition proves the overload capacity as referred to in 4.3.

When the surrounding medium is liquid, the test shall be performed at a starting liquid temperature of not more than 40 °C and not less than 10 °C.

The temperature of the surrounding medium shall be measured at not less than 25 mm below the contacts.

The temperature shall be measured by thermocouples or other suitable means positioned in a manner to accurately reflect the actual contact temperature as near the point of contact as possible. The measuring device should be embedded into the contact or brazed or welded onto the contact so that it is measuring the bulk temperature of the contact and not the temperature of the interface between contact and cooling medium.

The temperature condition is considered to be steady when the difference of the temperature between the contact and the surrounding medium does not change by more than 1 K over an hour.

The cross-section and insulation of the conductor carrying the current into the de-energized tap-changer or components under test shall be stated.

Table 4 – Contact temperature-rise limits for de-energized tap-changers

Contact material	In air K	In SF ₆ K	In liquid K
Plain copper	25	35	15
Silver-faced copper/alloys	40	35	15
Other materials	By agreement	By agreement	15

In SF₆ the maximum allowable contact temperature under overload conditions is 150 °C. When the temperature of SF₆ is controlled by a specific method, the manufacturer shall specify an allowable contact temperature rise, which takes into consideration reduced SF₆ temperature surrounding the DETC. Subsequent tests by the manufacturer using that method shall verify that the maximum allowable contact temperature of 150 °C will not be exceeded.

7.2.3 Short-circuit current test

All contacts of different design carrying current continuously shall be subject to short-circuit currents, each of 2 s ($\pm 10\%$) duration. In the case of liquid immersed de-energized tap-changers, the test shall be performed in transformer liquid.

In the case of three-phase de-energized tap-changers, it is sufficient to test the contacts of one phase only unless otherwise specified.

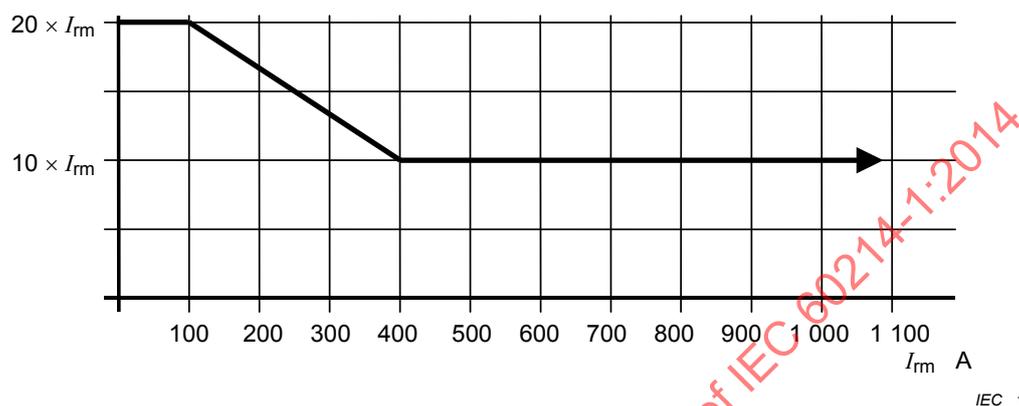


Figure 3 – Short-circuit test current (r.m.s. value) as a multiple of the maximum rated through-current (de-energized tap-changer)

Three applications shall be made with an initial peak current of 2,5 ($\pm 5\%$) times the r.m.s. value of the rated short-circuit test current. The contacts shall not be moved between these applications.

When there are no facilities for point-on-wave switching and it is not possible to obtain three short-circuit applications with initial peak current 2,5 times the r.m.s. value, the following test may be used.

The r.m.s. value of the short-circuit test current may be increased so that the rated peak current is obtained for the three applications and the test duration reduced. When using this method, the product of the square of the increased r.m.s. current and the shorter test duration shall be not less than the product of the square of the rated short-circuit r.m.s. current and the two second duration.

The values of the short-circuit test current to be applied shall be as given in Figure 3.

The open-circuit voltage for the test shall be at least 50 V.

At the conclusion of the test, the contacts shall not have been damaged so as to prevent continuing correct operation at maximum rated through-current. The initial operating torque shall be measured before and after the test and show suitability for service.

Other current-carrying parts shall not show signs of permanent mechanical distortion, which can influence the normal operation of the tap-changer.

7.2.4 Mechanical tests

7.2.4.1 Mechanical endurance test

If the de-energized tap-changer is of liquid-immersed design, it shall be assembled and filled with clean liquid or immersed in a test tank filled with clean liquid, and operated as for normal

service conditions. The contacts shall not be energized and the full range of taps shall be utilized until a minimum of 2 000 tap-change operations have been performed.

For de-energized tap-changers declared suitable for use with a motor-drive mechanism, then 20 000 operations shall be performed.

For compartment type de-energized tap-changers, this test may be performed at ambient temperature. For in-tank de-energized tap-changers, half the number of operations shall be performed at a temperature of not less than 75 °C and half at a lower temperature, for example during the heating or cooling period, with daily temperature cycles being permitted.

During the test, there shall be no failure or undue wear of the contacts or mechanical parts that would lead to mechanical failure if operation continued.

NOTE The surrounding mediums declared suitable for operation can typically be mineral insulating oil, alternative liquids (such as ester fluids (natural or synthetic) or silicon fluids), air and other gases.

7.2.4.2 Pressure and vacuum tests

Appropriate tests shall be performed on all glands and seals to prove pressure and vacuum values. The manufacturer shall declare his values.

7.2.5 Dielectric tests

7.2.5.1 General

The dielectric requirements of a de-energized tap-changer depend on the transformer winding to which it is to be connected.

The transformer manufacturer shall be responsible not only for selecting a de-energized tap-changer of the appropriate insulation level, but also for the insulation level of the connecting leads between the de-energized tap-changer and the windings of the transformer.

De-energized tap-changers for liquid-immersed design shall be filled with clean liquid or immersed in a test tank filled with clean liquid before the tests detailed in 7.2.5.2 are performed.

7.2.5.2 Nature of tests

The insulation level of the de-energized tap-changer shall be proved by dielectric tests performed at the following distances:

- a) to earth;
- b) between phases (where applicable);
- c) between the first and last contacts of the de-energized tap-changer;

NOTE In case of designs, where the fixed contacts are arranged in a straight line, this test is not applicable.

- d) between any two adjacent contacts of the de-energized tap-changer;
- e) any distance that, due to the contact configuration, will have a higher stress than the ones tested above.

7.2.5.3 Test voltages

– Class I

For test a), the test voltages shall comply with appropriate values from Table 5. For tests b), c), d) and e), appropriate withstand values of full and chopped wave lightning impulse voltage, applied voltage and if applicable of switching impulse shall be declared by the manufacturer of the de-energized tap-changer

– Class II

For tests a) and b), test voltage shall comply with the appropriate values from Table 5. For tests c), d) and e), appropriate withstand values of full and chopped wave lightning impulse, applied voltage and if applicable of switching impulse shall be declared by the manufacturer of the de-energized tap-changer.

The values in Table 5 are the highest selected test voltages for U_m and are based on Clause 7 of IEC 60076-3:2013. Table 5 should be used for selecting the test levels for 7.2.5.5 through 7.2.5.9.

Table 5 – Test voltage levels for de-energized tap-changers

Highest voltage for equipment U_m kV	Full wave lightning Impulse kV	Chopped wave lightning Impulse kV	Switching impulse kV	Applied voltage kV
< 1,1	-	-	-	3
3,6	40	44	-	10
7,2	75*	83*	-	20
12	110*	121*	-	34*
17,5	125*	138*	-	38
24	150*	165*	-	50
36	200*	220*	-	70
52	250	275	-	95
72,5	350*	385*	-	140
100	450	495	375*	185
123	550	605	460*	230
145	650	715	540*	275
170	750	825*	620*	325
245	1 050	1 155	850*	460
300	1 050	1 155	850	460
362	1 175	1 290	950	510
420	1 425	1 570	1 175*	630
550	1 675*	1 845*	1 390*	680
800	2 100	2 310	1 675*	-
1 100	2 250	2 475	1 800	-
1 200	2 250	2 475	1 800	-

NOTE Values marked with an asterisk (*) are not given in IEC 60076-1:2011 for the particular value of U_m but are included either because they represent common practice in some parts of the world or for some switching impulse levels, because they represent a co-ordinated value for a particular value of lightning impulse level (see IEC 60076-3:2013).

7.2.5.4 Application of test voltages

For the dielectric tests, the de-energized tap-changer shall be assembled, arranged and dried-out in a manner similar to that in service. It is not, however, necessary to include leads for connecting the de-energized tap-changer to the windings of a transformer. If using leads they should be an approximation of that in service. Tests may be performed on separate components provided it can be shown that the same dielectric conditions apply.

For test a) of 7.2.5.2 when applied to class I and class II de-energized tap-changers and test b) of 7.2.5.2 when applied to class II de-energized tap-changer, the live parts of each phase shall be short-circuited and connected either to the voltage source or to the earth as appropriate.

Where the de-energized tap-changer incorporates external insulation to earth, this external insulation shall be proved in accordance with the relevant tests described in IEC 60137.

The preferred testing sequence is as follows:

- full wave lightning impulse test;
- chopped wave lightning impulse test
- switching impulse test, when required;
- applied voltage test;
- measurement of partial discharges, when required.

7.2.5.5 Full wave lightning impulse test (LI)

The test impulse shall be a full standard lightning impulse ($1,2 \mu\text{s} \pm 30\%$ / $50 \mu\text{s} \pm 20\%$) with a maximum overshoot of 5 %. The tolerance on the test voltage value is $\pm 3\%$. Each test shall comprise three voltage applications of positive polarity and three voltage applications of negative polarity, at the required value.

7.2.5.6 Chopped wave lightning impulse test (LIC)

The wave shape of the full wave impulses shall be as given in 7.2.5.5. The chopped wave lightning impulse shall have a time chopping between $3 \mu\text{s}$ and $6 \mu\text{s}$. The time to first voltage zero after the instant of chopping shall be as short as possible. Each test shall comprise three voltage applications of positive polarity and three voltage applications of negative polarity, at the required value.

NOTE As an alternative, this requirement can be fulfilled carrying out a full wave lightning impulse test with the test values of the chopped wave lightning test.

7.2.5.7 Switching impulse test (SI)

This test is applicable to de-energized tap-changers of U_m 100 kV and above. The test shall be made between the live and earthed parts of the de-energized tap-changer. The test configuration shall be stated by the de-energized tap-changer manufacturer. The impulse shape shall be 250/2500 μs as specified in IEC 60060-1. Each test shall comprise three voltage applications of positive polarity and three voltage applications of negative polarity, at the required value.

7.2.5.8 Applied voltage test (AV)

The test shall be performed with a single-phase alternating voltage in accordance with IEC 60060-1, at the required value. The duration of each test application shall be 60 s.

7.2.5.9 Measurement of partial discharges

This test is not required on class I tap-changers.

For class II de-energized tap-changers a test shall be made between live parts and earthed parts of the tap-changer.

For class II de-energized tap-changers combining more than one phase in one unit (see example in IEC 60214-2) a test shall also be made between the phases, which are adjacent in the tap-changer. The test sequence described below can be used for measurement of partial

discharges between phases as well, however, the reference value $U_m / \sqrt{3}$ shall be exchanged with U_m .

The test configuration shall be stated by the de-energized tap-changer manufacturer. The screening of terminals to which tap leads will be connected is permissible.

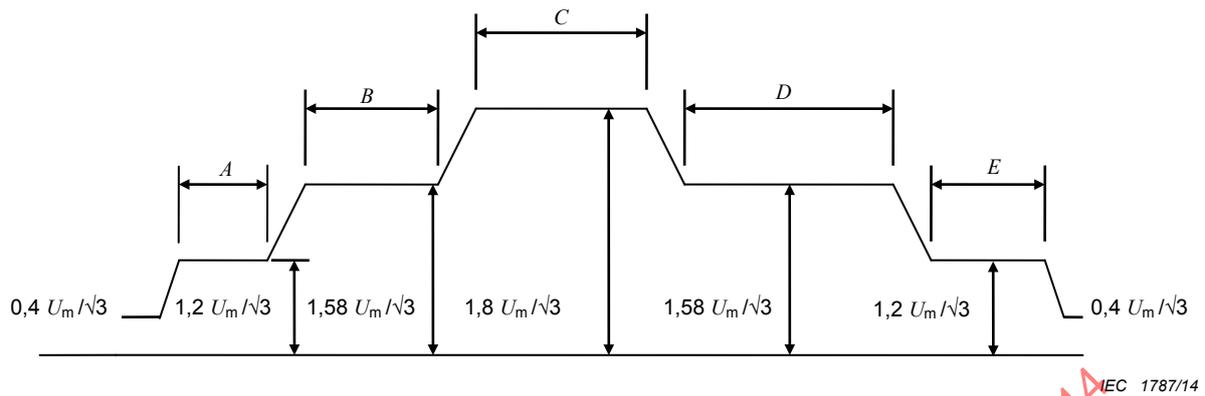
The test shall be performed with a single-phase alternating voltage in accordance with IEC 60060-1.

The test sequence shall be as follows:

- the voltage shall be switched on at a level not higher than $0,4 U_m / \sqrt{3}$;
- the background PD measurement shall be measured and recorded;
- the voltage shall be raised to $1,2 U_m / \sqrt{3}$ and held there for a minimum duration of 1 min;
- the PD level shall be measured and recorded;
- the voltage shall be raised to $1,58 U_m / \sqrt{3}$ and held there for a minimum duration of 5 min;
- the PD level shall be measured and recorded;
- the voltage shall be raised to the enhancement voltage $1,8 U_m / \sqrt{3}$ and held there for a duration of 60 s in case $U_m \leq 800$ kV and 300 s in case $U_m > 800$ kV;
- immediately after the test time, the voltage shall be reduced without interruption to $1,58 U_m / \sqrt{3}$;
- the PD level shall be measured and recorded;
- the voltage shall be held at $1,58 U_m / \sqrt{3}$ for a duration of at least 60 min;
- the PD level shall be measured and recorded every 5 min during the 60 min period;
- after the last PD measurement in the 60 min period the voltage shall be reduced to $1,2 U_m / \sqrt{3}$ and held there for a minimum duration of 1 min;
- the PD level shall be measured and recorded;
- the voltage shall be reduced to $0,4 U_m / \sqrt{3}$;
- the background PD measurement shall be measured and recorded;
- the voltage shall be reduced to a value below $0,4 U_m / \sqrt{3}$;
- the voltage shall be switched off.

The partial discharge level shall be continuously observed on at least one measuring channel for the entire duration of test.

The duration of the test shall be as shown in Figure 4.



Key

$A = 1 \text{ min}$

$B = 5 \text{ min}$

$C = 60 \text{ s}$ in case $U_m \leq 800 \text{ kV}$ and 300 s in case $U_m > 800 \text{ kV}$

$D = 60 \text{ min}$

$E = 1 \text{ min}$

Figure 4 – Time sequence for the application of test voltage (de-energized tap-changer)

Partial discharges shall be measured by a method according to IEC 60270.

Each PD measurement channel including the associated coupling capacitor shall be calibrated in terms of apparent charge (pC) according to the method given in IEC 60270.

The PD measurement shall be given in pC and shall refer to the highest steady-state repetitive impulses indicated by the measuring instrument.

Occasional bursts of high PD level may be disregarded.

The test can only be considered valid if the measured background PD level does not exceed 10 pC at both the beginning and the end of the test.

The test is successful if all the following criteria are fulfilled:

- a) no collapse of the test voltage occurs;
- b) the continuous level of partial discharges does not exceed 50 pC during the 60 min period (duration D);
- c) the PD behaviour shows no continuously rising tendency and no sudden sustained increase in the levels occurs during the last 20 min of the 60 min period (duration D);
- d) the PD level at a voltage of $1,2 U_m / \sqrt{3}$ after the 60 min period does not exceed 30 pC.

If the criterion c) is not met, the 60 min period may be extended and this criterion will be considered to have been met if it is fulfilled for a continuous period of 60 min.

NOTE The above test procedure is equivalent to the partial discharge test specified in 11.3 of IEC 60076-3:2013.

7.2.6 Type test certificate

The test certificate shall include:

- full details of the test arrangements adopted (for example, assembly arrangements and drying out) with explanatory sketches as necessary;
- full details of all tests applied in accordance with 7.2.2 to 7.2.5.

7.3 Routine tests

7.3.1 Mechanical tests

With the de-energized tap-changer fully assembled but without the contacts energized, two complete cycles of operation shall be performed without failure. During this test any end stops described under 7.1.6 shall be checked for correct operation and setting.

7.3.2 Pressure and vacuum tests

Tests shall be performed on all liquid-tight glands and levels shall be declared by the manufacturer. A declared value of zero indicates this test has not been carried out.

NOTE Pressure and vacuum tests on small de-energized tap-changers are often not carried out.

8 Requirements for motor-drive mechanisms for de-energized tap-changers

8.1 General requirements

8.1.1 General

Motor-drive mechanisms for on-load tap-changers may be used for de-energized tap-changer applications. For de-energized tap-changers, the requirements in 8.1.2 to 8.1.9 as a minimum shall apply.

If a motor-drive mechanism is used to operate the de-energized tap-changer, preference shall be given to automatic interlocks by means of electrical interlocking circuits.

8.1.2 Compliance of component parts

Unless otherwise specified, component parts of motor-drive mechanisms shall comply with the relevant IEC standard.

8.1.3 Permissible variation of auxiliary supply

The driving motor and the control equipment of the motor-drive mechanism shall be designed to operate satisfactorily between 85 % and 110 % of the rated supply voltage (a.c. and d.c. voltage), the frequency, in the case of a.c. voltage, being the rated supply frequency.

The standard values of rated a.c. supply frequency are 50 Hz and 60 Hz.

8.1.4 Tap position indicator

Clear and reliable indication of the tap position of the de-energized tap-changer shall be provided. It shall be possible to easily check the state of the tap position of the position-indicating device when operating locally.

If required, a remote position transmitter may be provided for indicating the tap position at a remote location.

8.1.5 Limiting devices

A mechanical limit device shall be incorporated in either the de-energized tap-changer or the motor-drive mechanism.

8.1.6 Operation counter

Operation counters shall be suitable for their intended duty in terms of environmental conditions and for the number of operations specified for the de-energized tap-changer. The number of operations of the de-energized tap-changer can be provided as an electrical information (stored in a memory) or with a five-figure or greater non-resettable counter.

If required, a device indicating the number of operations shall be provided (in case of electrical information).

8.1.7 Manual operation of the motor-drive mechanism

A device shall be provided which, in the event of power supply failure of the motor-drive mechanism, facilitates a tap-change operation of the de-energized tap-changer. The device shall ensure a blocking of the motor-drive mechanism to prevent unintended operation (e.g. remote control, voltage recovery, etc.).

The direction of rotation and further instructions shall be indicated adjacent to the point of engagement.

The design of the device should permit the operation by one person without undue effort.

8.1.8 Motor-drive cubicle

The motor-drive cubicle shall meet the protection requirements of IP44 according to IEC 60529 and shall be protected against condensation by suitable means.

If required, a higher degree of protection according to IEC 60529 may be agreed between manufacturer and purchaser.

8.1.9 Protection against access to hazardous parts

Driving mechanism cubicles fitted with doors shall continue to provide protection to at least category IP1X according to IEC 60529 with any door open.

NOTE This will provide protection against accidental "back of the hand" contact as a minimum.

External drive shafts shall be protected with guards.

8.2 Type tests

8.2.1 Mechanical load test

The motor-drive mechanism output shaft shall be loaded by the greatest torque for the de-energized tap-changer for which it is designed or by an equivalent simulated load torque cycle, based on service conditions. At such a load, 20 000 operations shall be performed across the whole tap range.

Additional cooling of the motor-drive is permissible during this test.

During this test, performed at rated frequency:

- 1 000 operations shall be performed at the minimum voltage as specified in 8.1.3;
- 1 000 operations shall be performed at the maximum voltage as specified in 8.1.3;

- 50 operations shall be performed at a temperature of $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. The temperature inside the motor-drive cabinet when the test starts shall be $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. The motor-drive mechanism shall be tested at rated voltage and rated frequency. The temperature inside the cabinet shall be measured during the test and stated in the test report.

The correct functioning of the device covered by 8.1.5, 8.1.6, and 8.1.7 shall be verified during this test. The test shall be completed without failure or any undue wear of the mechanical parts.

Normal maintenance according to the manufacturer's handbook is permitted during the test.

During the test, the heating system of the motor-drive mechanism shall be switched off.

8.2.2 Overrun test

It shall be demonstrated that in the event of a failure of the electrical limit switches, the mechanical end stops prevent operation beyond the end positions when a motorized tap-change is performed and that the motor-drive mechanism will not suffer either electrical or mechanical damage.

8.2.3 Degree of protection of motor-drive cubicle

When applicable, the motor-drive cubicle shall be tested in accordance with IEC 60529.

8.3 Routine tests

8.3.1 Mechanical tests

The motor-drive mechanism in the service condition or with an equivalent simulated load shall be operated electrically for two cycles of operation without failure. During this test, correct functioning in accordance with requirements of 8.1.5, 8.1.6 and 8.1.7 shall be checked.

After the above test two further cycles of operation shall be performed, one at the minimum and one at the maximum level of the rated voltage of the auxiliary supply. These shall be performed without failure.

NOTE The mechanical tests can be performed on the motor-drive mechanism separately or as in 7.3.1.

8.3.2 Auxiliary circuits insulation test

Auxiliary circuits, except the motor and other elements which are to be tested with lower test voltages according to the appropriate IEC standards, shall be subjected to a separate source a.c. withstand test of 2 kV r.m.s. applied for 1 min between all live terminals and the frame.

9 Nameplate

9.1 Tap-changers (on-load and de-energized)

Each tap-changer shall be provided with a nameplate of weatherproof material fitted in a visible position showing at least the following items:

- number and year of the relevant national standard and/or this IEC standard;
- the manufacturer's name;
- the manufacturer's serial number;
- the manufacturer's type designation;
- the year of manufacture;
- the rated through-current;

- the rated step voltage (if applicable);
- the transition resistor value (if applicable);
- static vacuum and pressure capabilities of the tap-changer.

The entries shall be indelibly marked, for example by etching, engraving, stamping or by a photo-chemical process.

NOTE For small de-energized tap-changers where size makes it impracticable to fit all of the above information on a nameplate, either a separate loose nameplate can be supplied or the information can be provided in the manufacturers' instructions.

9.2 Motor-drive mechanisms

Each motor-drive mechanism shall be provided with a nameplate of weatherproof material fitted in a visible position showing the appropriate items listed in 9.1. In addition, if appropriate, the nameplate shall show the following information:

- the rated voltage and rated frequency of the electric motor;
- the rated voltage and rated frequency of the control equipment;

NOTE In the case of a d.c. supply, the symbol --- can be used instead of the indication of the rated frequency.

- the number of service tap positions.

The entries shall be indelibly marked, for example by etching, engraving, stamping or photo-chemical process.

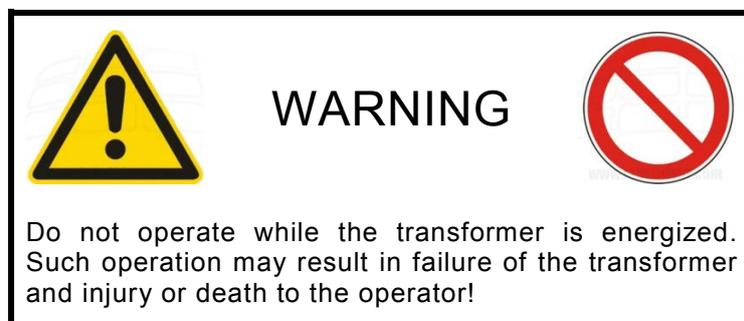
10 De-energized tap-changer warning label

For de-energized tap-changers, a warning label or instruction shall either be attached to the tap-changer or supplied as a separate label which shall be fitted adjacent to the operating handle. Figure 5 shows an example of such a warning label. The minimum and necessary requirement for a warning label is that operating the DETC is only allowed if the transformer is de-energized.

The conformity of the warning label (e.g. drawing, symbols) with local or national law is in the responsibility of the transformer manufacturer.

The transformer manufacturer is responsible to fit an appropriate warning label that is clearly visible, near the operating mechanism of the DETC on the transformer.

A similar label shall be attached to motor-drive mechanisms.



IEC 1788/14

Figure 5 – Warning label (example)

11 Manufacturers operating instructions

The manufacturer shall provide a handbook to facilitate the safe and proper operation of the tap-changer including maintenance criteria.

The handbook shall cover but not be limited to installation, operation, maintenance criteria and in addition identify any inherent dangers or risks (for example, electric shock, stored energy devices, unexpected starting of the mechanism following interruption of supply, etc.).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60214-1:2014

Annex A (normative)

Supplementary information on switching duty on main and transition contacts relating to resistor type tap-changers

Tables A.1 and A.3 show typical contact arrangements used for diverter and selector switches. Only one pair of contacts is shown for each function, although in practice this may represent a set of contacts.

Tables A.1 and A.3 also show the number of circuit-transfer operations performed together with the duty performed by each pair of contacts for each combination of switched current and recovery voltage during a number of cycles of operation corresponding to N tap-change operations.

In the expressions for current and voltage in Tables A.1 and A.3, the '+' and '-' signs indicate vectorial addition and subtraction, not algebraic. The duty on the contacts is consequently affected by the power-factor of the load on the transformer, which controls the phase angle between the through-current I and the step voltage E . The effect of the load power-factor on the duty of the various contacts is shown in Table A.2 for non-vacuum type on-load tap-changers and for vacuum type on-load tap-changers in Note 2 of Table A.3.

Additionally, Table A.3 shows not only the breaking stresses for the VIs of vacuum-type on-load tap-changers, but also the making stresses, which are of importance for this kind of tap-changers. The effect of the load power-factor on the duty of the various contacts of vacuum type tap-changers is mentioned in Note 2 of Table A.3.

If the transition impedance is divided into two units, these are assumed to be of equal value, each equal to R .

The arrangements shown in Figure A.1 are by no means exhaustive. Other possible arrangements exist and are used, such as the multiple resistor cycle, which may be an extension of the above-mentioned basic principles.

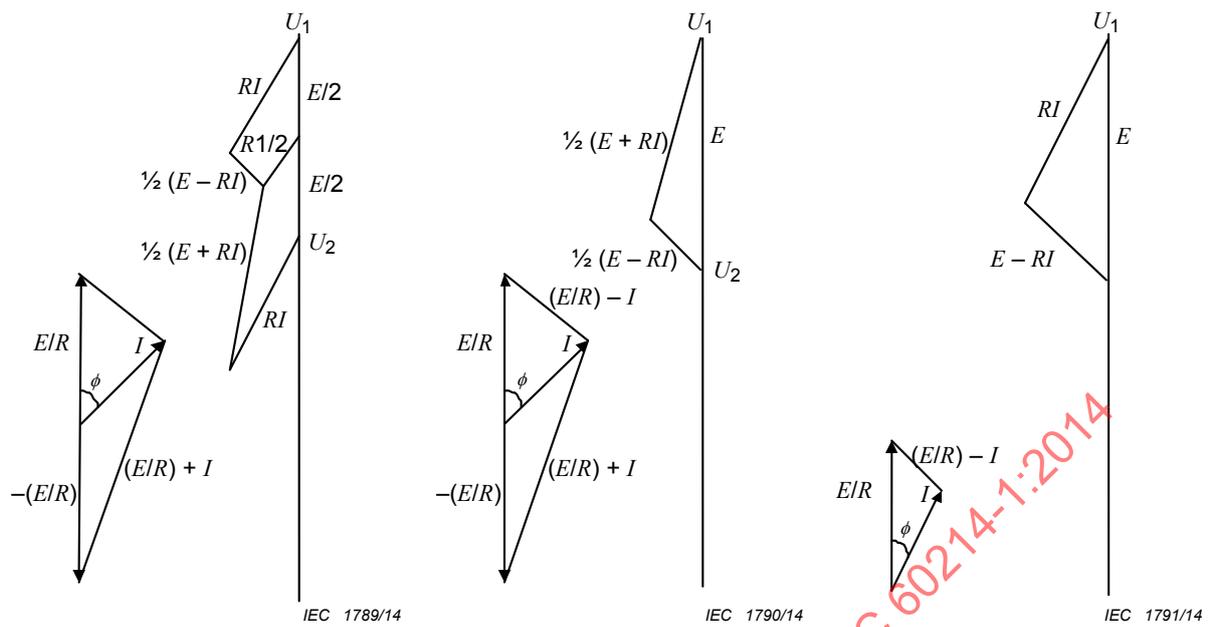


Figure A.1a – Diverter or selector switch with operating cycle number 1

Figure A.1b – Diverter switch with operating cycle number 2

Figure A.1c – Selector switch with operating cycle number 2

NOTE The numbering of the operating cycles only refers to Table A.1.

Figure A.1 – Examples of current and voltage vectors for resistor type tap-changers

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60214-1:2014

Table A.1 – Duty of main and transition contacts for resistor type tap-changers (non-vacuum type)

Type of switch	Operating cycle number	Diagram of connections	Contact operating order	Duty of main contact			Duty of transition contact			
				Contact	Switching current	Recovery voltage	Number of operations	Contact	Switching current	Recovery voltage
Non-vacuum diverter switch	1		W breaks	I	RI	N/2	X	$\frac{1}{2}(E/R + I)$	E + RI	N/4
			Y makes							
			X breaks	I	RI	N/2	Y	$\frac{1}{2}(E/R - I)$	E - RI	N/4
			Z makes							
	2		L makes	$E/R + I$	$\frac{1}{2}(E + RI)$	N/4	K	E/R	E	N/2
			J breaks	$E/R - I$	$\frac{1}{2}(E - RI)$	N/4				
			M makes	$E/R + I$	$\frac{1}{2}(E + RI)$	N/4	L	E/R	E	N/2
			K breaks	$E/R - I$	$\frac{1}{2}(E - RI)$	N/4				
Non-vacuum selector switch	1		C breaks	I	RI	N	A	$\frac{1}{2}(E/R + I)$	E + RI	N/2
			B breaks							
			C makes	I	RI	N	C	$\frac{1}{2}(E/R - I)$	E - RI	N/2
			A breaks							
	2		B makes	I	RI	N/2	S	E/R	E	N/2
			A makes							
			T breaks	$E/R + I$	$E + RI$	N/2	S	0	0	N/2
			T makes	$E/R - I$	$E - RI$	N/2				
S breaks	(NOTE 3)		(NOTE 3)		(NOTE 4)					
S makes	(NOTE 3)		(NOTE 3)		(NOTE 4)					

NOTE 1 Other circuits involving multiple resistors are not included as they are extensions of the above basic circuits.

NOTE 2 For the purpose of clarity, the diagram of connections and contact operating order are given for one direction of movement of the switch. The expressions for contact duty and number of operations, however, take into account the movement of the switch in both directions.

NOTE 3 Duties depend on the power flow direction and are given here for both directions.

NOTE 4 The number of operations is given under the condition that the power flow will not change.

Table A.2 – Effect of load power-factor on circuit-breaking duty for resistor type tap-changers (non-vacuum type)

Type of switch	Operating cycle number	Main contacts		Transition contacts	
		Contact	Effect of load power-factor	Contact	Effect of load power-factor
Non-vacuum type diverter switch	1	W and Z	None	X and Y	Maximum duty at power-factor = 1,0
	2	J and M	Maximum duty at power-factor = 1,0	K and L	None
Non-vacuum type selector switch	1	B	None	A and C	Maximum duty at power-factor = 1,0
	2	T	None for $N/2$ operations Maximum duty at power-factor = 0 for $N/2$ operations	S	None

NOTE Non-vacuum type selector switches employing the operating cycle number 2 are normally used with load current flow in one direction only.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60214-1:2014

Table A.3 – Duty of main and transition contacts for resistor type tap-changers (vacuum type) (1 of 2)

Type of switch	Operating cycle number	Diagram of connections	Contact operating order				Duty of main contact V_m					Duty of transition contact $V_t, V_{to}, V_{te}, V_{t1}, V_{t2}$					Number of operations
			Changing from S_0 to S_e or from r_i to r_{i+1}	Changing from S_e to S_0 or from r_{i+1} to r_i	Switching current	Recovery voltage	Closing current	Closing voltage	Number of operations	Contact	Switching current	Recovery voltage	Closing current	Closing voltage	Number of operations		
Diverter switch (with one transition resistor)	1		V_m breaks	V_m makes	I	RI	$E/R+I$	$E+RI$	$N/2$	V_t	E/R	E	0	0	N		
			A_m transfers	A_m transfers	V_t breaks	V_t makes	$E/R-I$	$E-RI$	$E/R-I$	$E-RI$	$N/2$	V_t	E/R	E	0	0	N
Diverter switch (with two transition resistors)	1		V_m breaks	V_m makes	I	RI	$E/R+I$	$E+RI$	$N/2$	V_{to}	E/R	E	0	0	$N/2$		
			S_1 transfers	S_1 transfers	V_t breaks	V_t makes	$E/R-I$	$E-RI$	$E/R-I$	$E-RI$	$N/2$	V_{te}	E/R	E	0	0	$N/2$
Diverter switch (with two transition resistors)	2		V_m breaks	V_m makes	I	RI	$E/R+I$	$E+RI$	$N/2$	V_{t1}	E/R	$E+RI$	$1/2(E/R+I)$	$E+RI$	$N/2$		
			V_{t2} breaks	V_{t2} makes	$E/R-I$	$E-RI$	$E/R-I$	$E-RI$	$E/R-I$	$E-RI$	$N/2$	V_{t2}	E/R	E	$1/2(E/R-I)$	E	$N/2$
Selector switch (with two transition resistors)	1		S_{11} transfers	S_{11} transfers	I	RI	$E/R+I$	$E+RI$	N	V_{t1}	E/R	$E+RI$	$1/2(E/R+I)$	$E+RI$	$N/2$		
			V_{t2} breaks	V_{t2} makes	$E/R-I$	$E-RI$	$E/R-I$	$E-RI$	$E/R-I$	$E-RI$	$N/2$	V_{t2}	E/R	E	$1/2(E/R-I)$	E	$N/2$

Table A.3 (2 of 2)

<p>Key</p> <p>E is the step voltage</p> <p>I is the load current</p> <p>S_o, S_e are the tap selector contacts</p> <p>S_m, S_{t1}, S_{t2} are selector contacts of a selector switch</p> <p>V_m is the main contact (vacuum interrupter)</p> <p>$V_t, V_{to}, V_{te}, V_{t1}, V_{t2}$ are the transition contacts (vacuum interrupters)</p> <p>A_m, A_t are the auxiliary transfer switches</p>
<p>NOTE 1 The above circuits with 1 or 2 transition resistors and 2 or 3 vacuum interrupters are the most basic and typical circuits for vacuum type tap-changers. Other circuits involving multiple resistors and more number of vacuum interrupters are not included as they are extensions of the above basic circuits.</p> <p>NOTE 2 Duties including $(E/R+I)$ will be maximum at power-factor = 1,0, duties including $(E/R-I)$ will be maximum at power-factor = 0 and duties including neither $(E/R+I)$ or $(E/R-I)$ are not affected by the power-factor.</p> <p>NOTE 3 The given contact duties in the upper row are valid for one switching direction, the duties given in the lower row are valid for the opposite direction.</p> <p>NOTE 4 Duties depends on the power flow direction and are given here for both directions.</p> <p>NOTE 5 The number of operations is given under the condition that the power flow direction will not change.</p>

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60214-1:2014

Annex B (normative)

Supplementary information on switching duty relating to reactor type tap-changers

B.1 Additional test parameters

B.1.1 Service duty test

The requirements in 5.2.3.2 apply with the following provisions:

- a) preventive auto-transformer: circulating current in bridging position equal to 50 % of the rated through-current or as otherwise specified by the manufacturer and stated in the design test report;
- b) power factor: 80 %.

B.1.2 Breaking capacity test

- a) The requirements in 5.2.3.3 apply with the following provisions:
- b) preventive auto transformer: circulating current in bridging position equal to 50 % of the rated through-current or as otherwise specified by the manufacturer and stated in the design test report;
- c) power factor: 0 %;
- d) number of operations: 40.

B.2 Duty of switching contacts

Tables B.1 to B.4 respectively, show the duty on switching contacts for reactor type tap-changers with the following types of switching:

- selector switch;
- selector switch and equalizing winding;
- diverter switch and tap selector;
- vacuum interrupter and tap selector.

Similarly, Figures B.1 to B.8 show the sequence and vector diagrams for the four types of reactor type tap-changers.

Table B.1 – Duty of switching contacts for reactor type tap-changers with selector switch – Switching direction from P1 to P5

Operating sequence (NOTE 1)	Contact operation	Contact	Switching current	Recovery voltage
P1	N/A	G	-	-
On tap 1		H	-	-
P2	H breaks	G	-	-
Transition to bridging (selector switch opens)		H	$\frac{1}{2}I$ (NOTE 2)	$\frac{1}{2}IZ$
P3	H makes	G	-	-
Bridging taps 1 and 2		H	-	-
P4	G breaks	G	$\frac{1}{2}I + E_T/Z$ (NOTE 3)	$E_T - \frac{1}{2}IZ$
Transition to on-tap 2		H	-	-
P5	G makes	G	-	-
On tap 2		H	-	-

NOTE 1 P1, P3 and P5 are service tap positions.

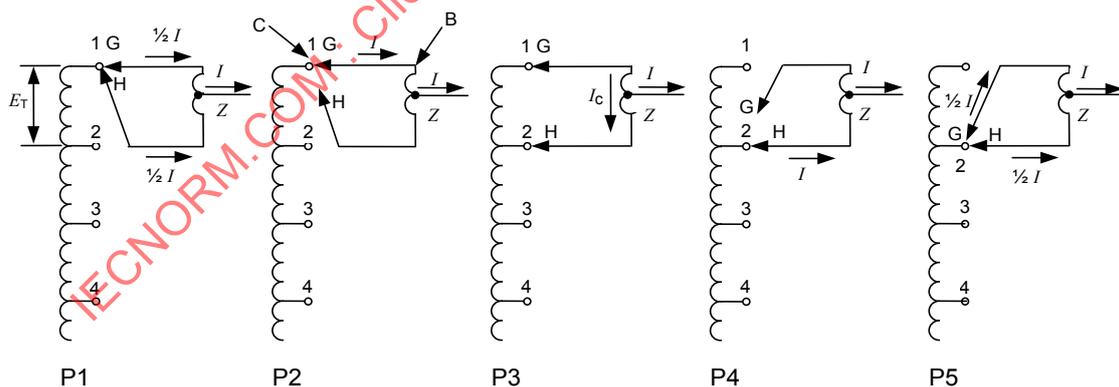
NOTE 2 I is the load current.

NOTE 3 E_T/Z is equal to I_C , the circulating current, Z is the impedance of the preventive autotransformer and E_T is the tap voltage.

NOTE 4 When the transition to on-tap is in the reverse direction, that is, from P5 to P1, the switching current at the G contact is $\frac{1}{2}I$ and the corresponding recovery voltage is $\frac{1}{2}IZ$ (P4). The switched current at H contact is $E_T/Z - \frac{1}{2}I$ and the corresponding recovery voltage is $E_T - \frac{1}{2}IZ$ (P2).

NOTE 5 See Figure B.1 for the operating sequence diagrams and Figure B.2 for the vector diagrams.

NOTE 6 All additions shown in the table are vector additions.



IEC 1792/14

Key

B is the reactor

C is the selector switch (2 in total)

Figure B.1 – Operating sequence of reactor type tap-changers with selector switch

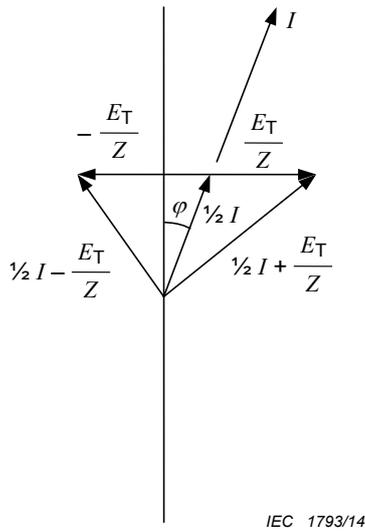


Figure B.2a – Current

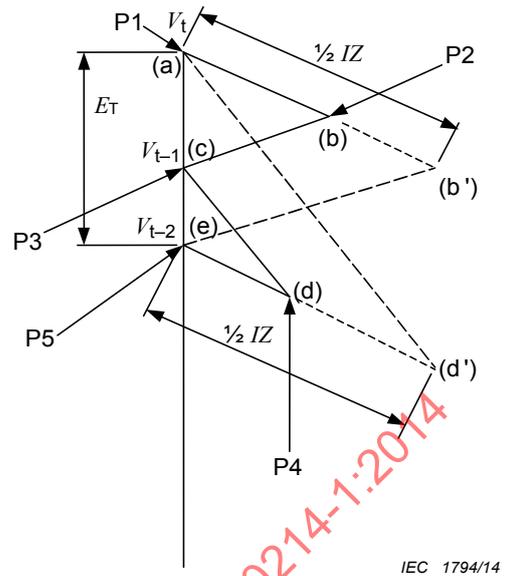


Figure B.2b – Voltage

NOTE 1 System voltage progression during transition steps for two tap position change operations are shown in brackets (a) to (e) in Figure B.2b. Points (a), (c) and (e) represent quiescent operation. Points (b) and (d) represent momentary operations due to reactance drop.

NOTE 2 Vectors (a-b') and (e-d') represent reactor voltage due to transformer action.

NOTE 3 Shown for $|E_T/Z| \cong 0,5 |I|$.

Figure B.2 – Current and voltage vectors for reactor type tap-changers with selector switch

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60214-1:2014

Table B.2 – Duty of switching contacts for reactor type tap-changers with selector switch and equalizer windings – Switching direction from P1 to P5

Operating sequence (NOTE 1)	Contact operation	Contact	Switching current	Recovery voltage
P1	N/A	G	-	-
On tap 1		H	-	-
P2	H breaks	G	-	-
Transition to bridging (selector switch opens)		H	$\frac{1}{2}I + \frac{1}{2}E_T/Z$ (NOTE 2)	$\frac{1}{2}IZ + \frac{1}{2}E_T$
P3	H makes	G	-	-
Bridging taps 1 and 2		H	-	-
P4	G breaks	G	$\frac{1}{2}I + \frac{1}{2}E_T/Z$ (NOTE 3)	$\frac{1}{2}E_T + \frac{1}{2}IZ$
Transition to on-tap 2		H	-	-
P5	G makes	G	-	-
On tap 2		H	-	-

NOTE 1 P1, P3 and P5 are service tap positions.

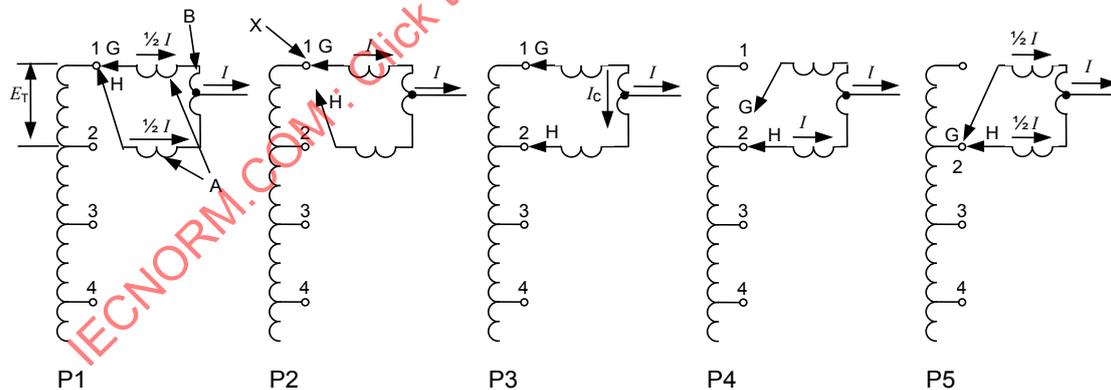
NOTE 2 I is the load current.

NOTE 3 $\frac{1}{2} E_T/Z$ is equal to I_C , the circulating current, Z is the impedance of the preventive autotransformer and E_T is the tap voltage. $\frac{1}{2} E_T$ is the equalizer winding voltage.

NOTE 4 When the transition to on-tap is in the reverse direction, that is, from P5 to P1, the switching current at the G contact is $\frac{1}{2} E_T/Z - \frac{1}{2}I$ and the corresponding recovery voltage is $\frac{1}{2} E_T - \frac{1}{2}IZ$ (P4). The switched current at the H contact is $\frac{1}{2} E_T/Z - \frac{1}{2}I$ and the corresponding recovery voltage is $\frac{1}{2} E_T - \frac{1}{2}IZ$ (P2).

NOTE 5 See Figure B.3 for the operating sequence diagrams and Figure B.4 for the vector diagrams.

NOTE 6 All additions shown in the Table are vector additions.



IEC 1795/14

Key

A is the reactor (2 in total)

B is the equalizing winding

X is the selector switch (2 in total)

Figure B.3 – Operating sequence of reactor type tap-changers with selector switch and equalizer windings

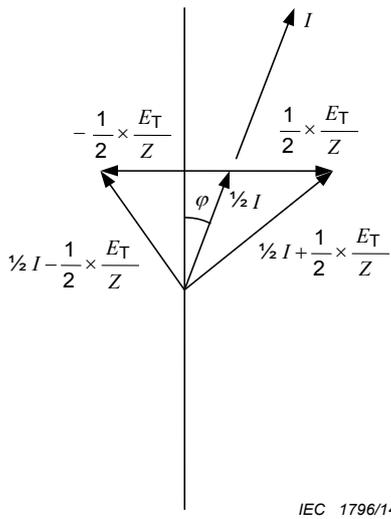


Figure B.4a – Current

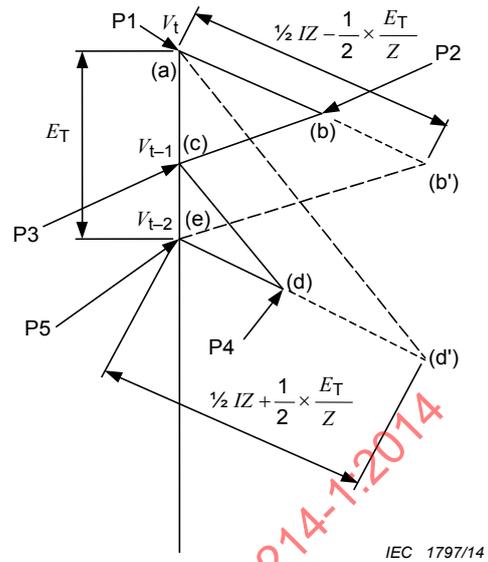


Figure B.4b – Voltage

NOTE 1 System voltage progression during transition steps for two tap position change operations are shown in brackets (a) to (e) in Figure B.4b. Points (a), (c) and (e) represent quiescent operation. Points (b) and (d) represent momentary operations due to reactance drop.

NOTE 2 Vectors (a-b') and (e-d') represent reactor voltage due to transformer action.

NOTE 3 Shown for $|E_T/2Z| \cong 0,5 |I|$.

Figure B.4 – Current and voltage vectors for reactor type tap-changers with selector switch and equalizer windings

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60214-1:2014

Table B.3 – Duty of switching contacts for reactor type tap-changers with diverter switch and tap selector – Switching direction from P1 to P7

Operating sequence (NOTE 1)	Contact operation	Contact	Switching current	Recovery voltage
P1 On tap 1	N/A	G	-	-
		H	-	-
P2 Transition to bridging (diverter switch opens)	H breaks	G	-	-
		H	$\frac{1}{2}I$ (NOTE 2)	$\frac{1}{2}IZ$
P3 Transition to bridging (selector moves to bridging)	Selector moves to bridge taps 1 and 2	G	-	-
		H	-	-
P4 Bridging taps 1 and 2	H makes	G	-	-
		H	-	-
P5 Transition to on-tap 2 (diverter switch opens)	G breaks	G	$\frac{1}{2}I + E_T/Z$ (NOTE 3)	$E_T + \frac{1}{2}IZ$
		H	-	-
P6 Transition to on-tap 2	Selector moves to tap 2	G	-	-
		H	-	-
P7 On tap 2	G makes	G	-	-
		H	-	-

NOTE 1 P1, P4 and P7 are operating positions.

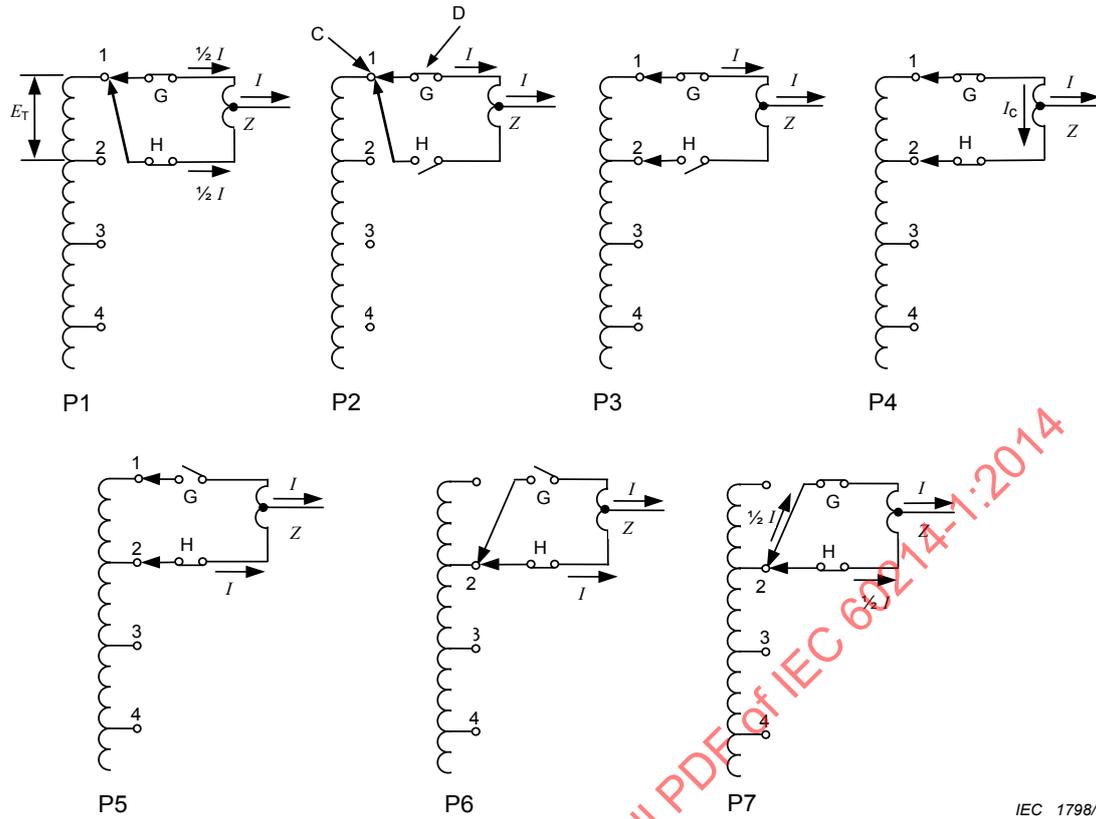
NOTE 2 I is the load current.

NOTE 3 E_T/Z is equal to I_C , the circulating current, Z is the impedance of the preventive auto-transformer and E_T is the tap voltage.

NOTE 4 When the transition to on-tap is in the reverse direction, that is, from P7 to P1, the switching current at the G contact is $\frac{1}{2}I$ and the corresponding recovery voltage is $\frac{1}{2}IZ$ (P6). The switched current at the H contact is $\frac{1}{2}I - E_T/Z$ and the corresponding recovery voltage is $E_T - \frac{1}{2}IZ$ (P3).

NOTE 5 See Figure B.5 for the operating sequence diagrams and Figure B.6 for the vector diagrams.

NOTE 6 All additions shown in the table are vector additions.



Key

C is the tap selector (2 in total)

D is the diverter switch (2 in total)

G and H are the diverter switches

Position P1 shows operation on tap 1

Position P4 shows taps 1 and 2 being bridged

Position P7 shows operation on tap 2

Figure B.5 – Operating sequence of a reactor type tap-changer with diverter switch and tap selector

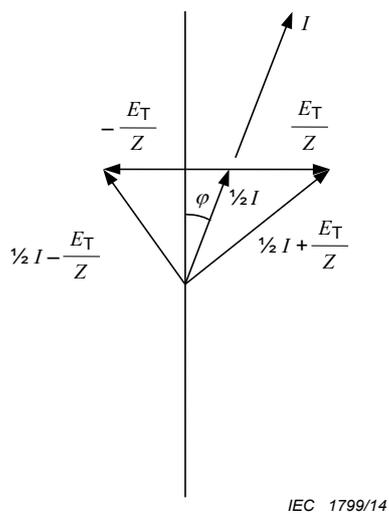


Figure B.6a – Current

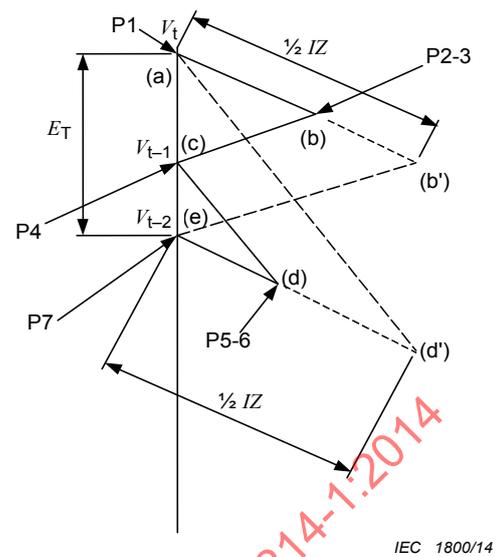


Figure B.6b – Voltage

NOTE 1 System voltage progression during transition steps for two tap position change operations are shown in brackets (a) to (e) in Figure B.6b. Points (a), (c) and (e) represent quiescent operation. Points (b) and (d) represent momentary operations due to reactance drop.

NOTE 2 Vectors (a-b') and (e-d') represent reactor voltage due to transformer action.

NOTE 3 Shown for $|E_T/Z| \cong 0,5 |I|$.

Figure B.6 – Current and voltage vectors for reactor type tap-changers with diverter switch and tap selector

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60214-1:2014

Table B.4 – Duty of switching contacts for reactor type tap-changers with vacuum interrupter and tap selector – Switching direction from P1 to P11

Operating sequence (NOTE 1)	Contact	Contact operation	Switching current	Recovery voltage
P1 On tap 1	G	Closed	-	-
	V	Closed	-	-
	H	Closed	-	-
P2 Transition to bridging (by-pass switch opens)	G	Closed	-	-
	V	Closed	-	-
	H	Open	-	-
P3 Transition to bridging (vacuum switch opens)	G	Closed	-	-
	V	Breaks	$\frac{1}{2}I$ (NOTE 2)	$\frac{1}{2}IZ$
	H	Open	-	-
P4 Transition to bridging (selector moves to tap 2)	G	Closed	-	-
	V	Open	-	-
	H	Open	-	-
P5 Transition to bridging (vacuum switch closes)	G	Closed	-	-
	V	Makes	-	-
	H	Open	-	-
P6 Bridging taps 1 and 2 (by-pass switch closes)	G	Closed	-	-
	V	Closed	-	-
	H	Closed	-	-
P7 Transition to on-tap 2 (by-pass switch opens)	G	Open	-	-
	V	Closed	-	-
	H	Closed	-	-
P8 Transition to on-tap 2 (vacuum switch opens)	G	Open	-	-
	V	Breaks	$\frac{1}{2}I + E_T/Z$ (NOTE 3)	$E_T + \frac{1}{2}IZ$
	H	Closed	-	-
P9 Transition to on-tap 2 (selector moves to tap 2)	G	Open	-	-
	V	Open	-	-
	H	Closed	-	-
P10 Transition to on-tap 2 (vacuum switch closes)	G	Open	-	-
	V	Makes	-	-
	H	Closed	-	-
P11 On tap 2	G	Closed	-	-
	V	Closed	-	-
	H	Closed	-	-

NOTE 1 P1, P6 and P11 are operating positions.

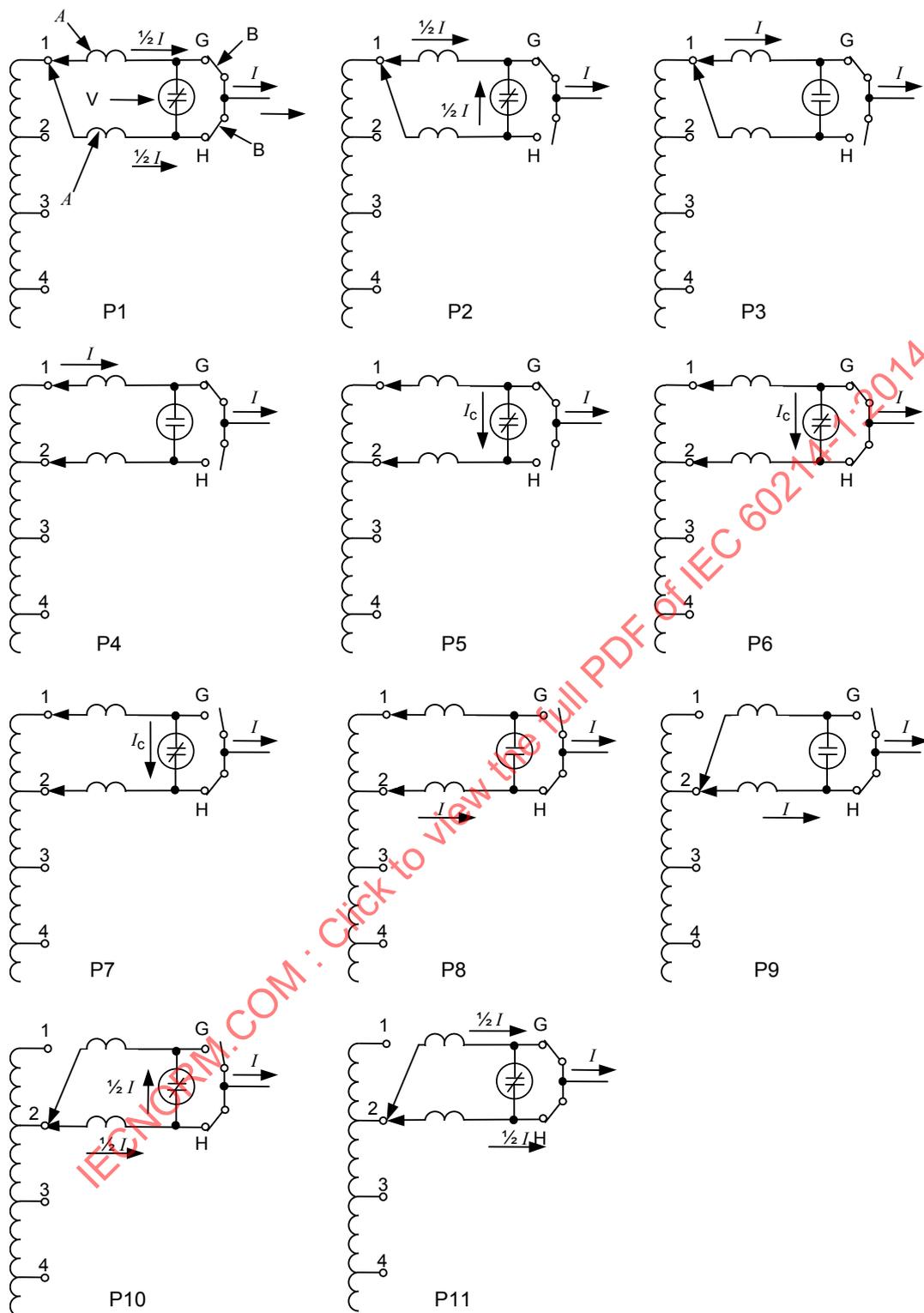
NOTE 2 I is the load current.

NOTE 3 E_T/Z is equal to I_C , the circulating current, Z is the impedance of the preventive autotransformer and E_T is the tap voltage.

NOTE 4 When the transition to on-tap is in the reverse direction, that is, from P11 to P1, the switching current at the V contact is $\frac{1}{2}I$ and the corresponding recovery voltage is $\frac{1}{2}IZ$ (P9). The switched current at V contact is $E_T/Z - \frac{1}{2}I$ and the corresponding recovery voltage is $E_T - \frac{1}{2}IZ$ (P4).

NOTE 5 See Figure B.7 for the operating sequence diagrams and Figure B.8 for the vector diagrams.

NOTE 6 All additions shown in the table are vector additions.



IEC 1801/14

Key

A is the reactor (2 in total)

B is the by-pass switch (2 in total)

V is the vacuum interrupter

Figure B.7 – Operating sequence of a reactor type tap-changer with vacuum interrupter and tap selector

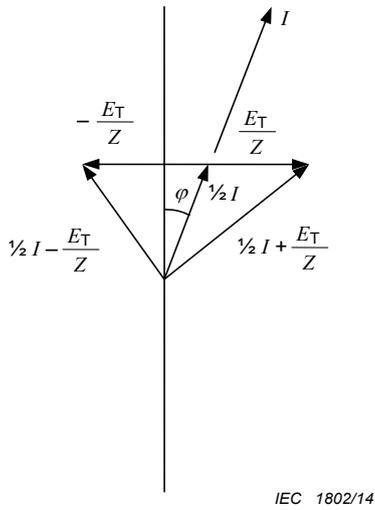


Figure B.8a – Current

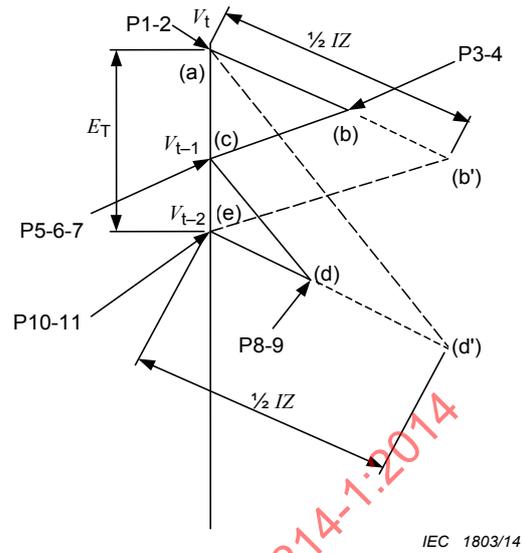


Figure B.8b – Voltage

NOTE 1 System voltage progression during transition steps for two tap position change operations are shown in brackets (a) to (e) in Figure B.8b. Points (a), (c) and (e) represent quiescent operation. Points (b) and (d) represent momentary operations due to reactance drop.

NOTE 2 Vectors (a-b') and (e-d') represent reactor voltage due to transformer action.

NOTE 3 Shown for $|E_T/Z| \cong 0,5 |I|$.

Figure B.8 – Current and voltage vectors for reactor type tap-changers with vacuum interrupter and tap selector

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60214-1:2014

Annex C (normative)

Method for determining the equivalent temperature of the transition resistor using power pulse current

Set up the resistor in an on-load tap-changer or in a thermally equivalent situation, suitable arrangements being made to measure the temperature of the resistance material. The thermocouples or thermometers for measuring the temperature of the cooling medium should be positioned not less than 25 mm below the lowest point of the resistance material.

Measure and record the temperature of the resistance material and of the cooling medium at the start of the test.

The test shall be performed with current I_p , the r.m.s. value of which is obtained from

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{k}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i^2 \times t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i}}$$

where

I_i is the current value loading the transition resistor throughout different steps of the switching sequence. For the calculation of the particular currents, the through-current has to be set to 1,5 times the maximum through-current (see 5.2.5);

t_i is the time during which the particular currents I_i are flowing. These values have to be taken as a mean value from the service duty test according to 5.2.3.2;

k is the coefficient chosen to suit the testing requirements of the resistor; the value adopted should be below 5. Values between 5 and 10 shall only be used if the heating phenomenon remains to be adiabatic.

It has to be considered that the current I_i and the time t_i are depending on the operating cycle of the diverter/selector switch.

The resistor shall be subjected to the above current for a number of times corresponding to one-half of one cycle of operations. The duration of the current application shall be determined from

$$t_p = k \sum_{i=1}^n t_i$$

The rest period during which current does not flow through the resistor shall be equal to the minimum time interval that can occur between two consecutive operations of the tap-changer.

To determine the peak temperature, extrapolation of recorded values may be necessary.

Annex D (informative)

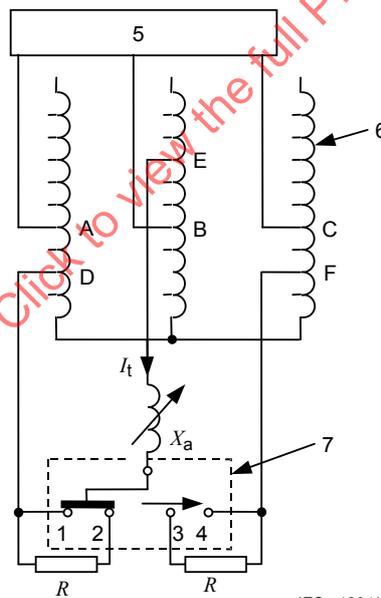
Simulated a.c. circuits for service duty and breaking capacity tests

D.1 General

Two proven simulated test circuits are shown in Figures D.1 and D.2. Figure D.1 being a transformer method and Figure D.2 a resistance method, see 5.2.3.5. These figures are given for information only and the use of different circuits is not excluded.

D.2 Transformer method

In order to meet the requirements in 5.2.3.2 and 5.2.3.3 and to take into account the reactances of the circuit and supply, the current and voltage values occurring on the four contacts (see Figure D.1) should be controlled and when necessary suitably adjusted, for example, by means of variations of the U_{ED} , X_a and R values and/or of the mutual phase of the voltage vectors.



Key

- | | | | |
|---------|--|----------------------------|---|
| 1 and 4 | are the main contacts | R | is the transition resistor |
| 2 and 3 | are the transition contacts | X_a | is an adjustable reactor |
| 5 | is the supply from a generator or network | $U_{AR} = U_{RC} = U_{CA}$ | is the three-phase supply voltage |
| 6 | is the auto-transformer, or transformer, with step adjustable voltages | U_{DF} | is the step voltage relevant to I_t |
| 7 | is the diverter switch | I_t | is the test current to be adjusted by means of U_{ED} and X_a |

Figure D.1 – Simulated test circuit – Transformer method

D.3 Resistance method

In order to meet the requirements in 5.2.3.2 and 5.2.3.3 and to take into account the impedance of the circuit and supply, the current and voltage values occurring on the four contacts (see Figure D.2) should be controlled and when necessary, adjusted, by means of small variations of the R_1 ohmic value.

The calculated current and voltage values occurring in the whole tap-change operation on the four contacts should be used to calculate the power divider (see Figure D.2).

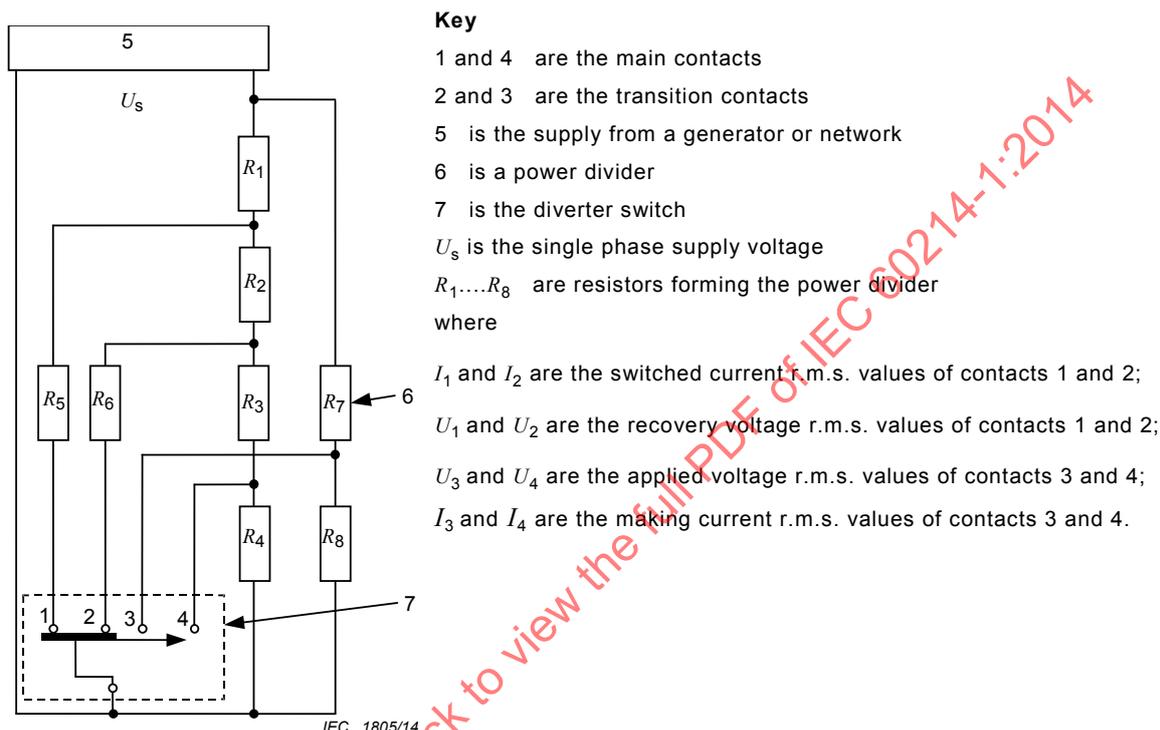


Figure D.2 – Simulated test circuit – Resistance method

In the case under consideration (four-contact diverter switch with operating cycle number 1 according to Table A.1), the equation for the most onerous conditions is given in the following equations:

$$R_1 = \frac{U_s(U_s - U_1)}{I_4(U_s - U_4) + U_2 I_2} \quad (\text{D.1})$$

$$R_2 = \frac{U_s(U_1 - U_2)}{I_4(U_s - U_4) + U_2 I_2} + \frac{U_s}{I_4(U_s - U_4)} \times \frac{U_2 I_2 (U_s - U_2)}{I_4(U_s - U_4) + U_2 I_2} \quad (\text{D.2})$$

$$R_3 = \frac{U_s}{I_4} \times \frac{U_2 - U_4}{U_s - U_4} \quad (\text{D.3})$$

$$R_4 = \frac{U_s}{I_4} \times \frac{U_4}{U_s - U_4} \quad (\text{D.4})$$

$$R_5 = \frac{U_1}{I_1} - \frac{U_1(U_s - U_1)}{I_4(U_s - U_4) + U_2 I_2} \quad (\text{D.5})$$

$$R_6 = \frac{U_2}{I_2} - \frac{U_2(U_s - U_2)}{I_4(U_s - U_4)} \quad (\text{D.6})$$

$$R_7 = \frac{U_s}{I_3} \quad (D.7)$$

$$R_8 = \frac{U_3}{I_3} \times \frac{U_s}{U_s - U_3} \quad (D.8)$$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60214-1:2014

Annex E (informative)

Example of a synthetic test circuit for service duty test of vacuum type tap-changers

E.1 Definitions with relevance to the synthetic test circuit

E.1.1 Synthetic test circuit

test circuit with a power supply other than an a.c. generator or a transformer

E.1.2 Simulated a.c. test circuit

test circuit according to Annex D

E.1.3 Pre-arc

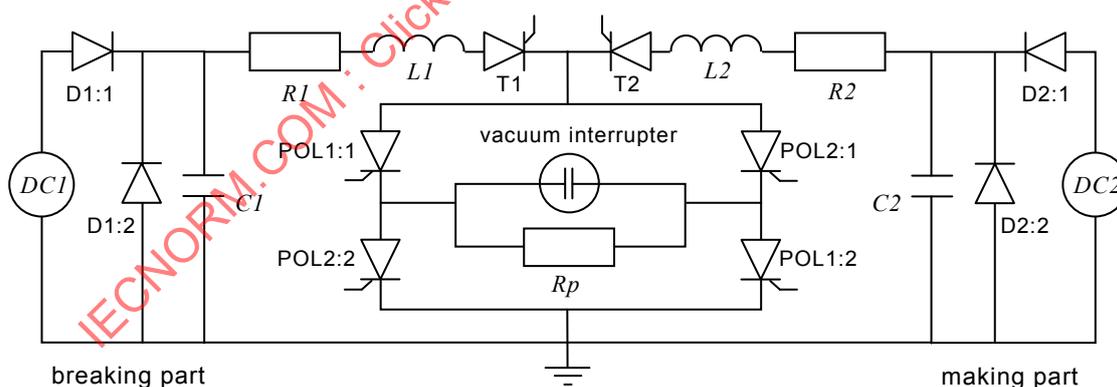
arc that appears between closing contacts when the distance has become so small that a flashover occurs between the contacts

E.1.4 Making voltage

voltage applied across closing contacts

E.2 Example for the test setup of a synthetic test circuit

Figure E.1 shows an example of an appropriate synthetic test circuit.



IEC 1806/14

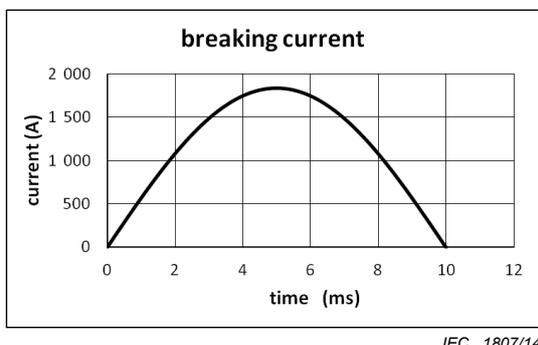
Figure E.1 – Synthetic test circuit for service duty test of vacuum type tap-changers

The principle is to use d.c. currents and d.c. voltages from charged capacitors instead of a.c. current and voltage. The capacitors are charged for each operation and the discharge is controlled by inductances and resistors.

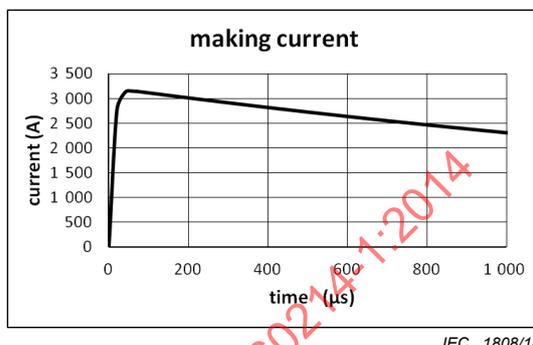
In the breaking part, *DC1* is a d.c. generator charging capacitor *C1*. Thyristor *T2* blocks or starts the discharge of *C1*. Inductance *L2* and resistor *R2* are tuned to give a substantially sine-wave shaped discharging current with a period time very close to that for 50 Hz or 60 Hz.

In the making part, $DC2$ is a d.c. generator charging capacitor $C2$. Thyristor $T1$ blocks or starts the discharge of $C2$. Inductance $L1$ and resistor $R1$ are tuned to give current derivative as close to that of a real transformer as possible.

The thyristors POL1:1, 1:2, 2:1 and 2:2 are for changing polarity on the test object. The resistor R_p keeps the making part thyristors conducting until a re-strike or the closing of the vacuum interrupter occurs.



IEC 1807/14



IEC 1808/14

Figure E.2a – Breaking current

Figure E.2b – Making current

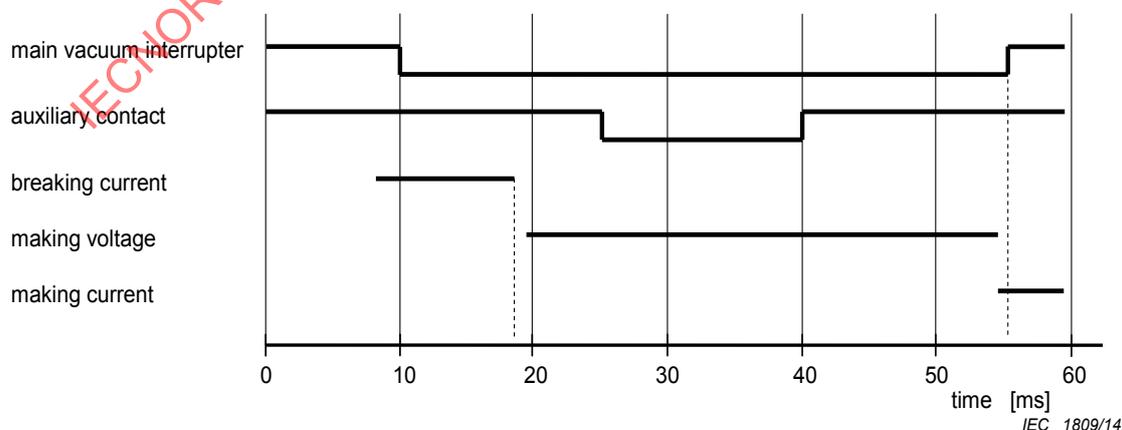
Figure E.2 – Currents of the synthetic test circuit

The breaking current is tuned to look as shown in Figure E.2a. In this case, it is approximately 1 300 A r.m.s at 50 Hz.

The making current is tuned to look as shown in Figure E.2b. In this example, it rises to 3 200 A in about 0,05 ms, giving a current derivative of about 70 kA/ms and a time constant of 10 μ s. This example simulates closing conditions for a vacuum type tap-changer with a current rating of 1 300 A (operating cycles, where the closing voltage is $E + RI$ and the closing current is $E/R + I$, see Table A.3.).

E.3 Example for the breaking/making condition during a switching operation

In the example below (Figure E.3), the recovery voltage and the making voltage are the same. These two voltages could be different and in such case two different circuits generating different recovery voltage and making voltage shall be applied.



IEC 1809/14

Figure E.3 – Example of the synthetic test for a switching operation with equal voltages for breaking and making duty

At time approximates 9 ms, the breaking current is switched on. At time 10 ms, the main vacuum interrupter opens. An arc of 9 ms (can be changed between 0 ms and 10 ms by varying the opening time of the vacuum interrupter) will be achieved. Just before 20 ms, the arc is extinguished and by measuring the arc voltage, a distinct and clear indication is given when the arc is extinguished.

Within less than or equal to 0,1 ms after extinguishing the arc, the recovery voltage is switched on. In case of no re-ignition the voltage will still be on before closing the contacts and acts as the making voltage. When the vacuum interrupter has started to close and the distance between the contacts has become small (approximately parts of millimetres), a pre-arc will occur and the making circuit will discharge generating the correct closing conditions.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60214-1:2014

Bibliography

IEC 60076-1:2011, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60076-11, *Power transformers – Part 11: Dry-type transformers*

IEC 60076-12, *Power transformers – Part 12: Loading guide for dry-type power transformers*

IEC 60076-15, *Power transformers – Part 15: Gas-filled power transformers*

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

IEC 60599, *Mineral oil-impregnated electrical equipment in service – Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60214-1:2014

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60214-1:2014

CONTENTS

AVANT-PROPOS	82
1 Domaine d'application	84
2 Références normatives	84
3 Termes et définitions	85
4 Conditions de service	92
4.1 Température de l'environnement du changeur de prises	92
4.2 Température de l'environnement du mécanisme d'entraînement à moteur	92
4.3 Conditions de surcharge	92
5 Exigences pour les changeurs de prises en charge	93
5.1 Exigences générales	93
5.1.1 Caractéristiques assignées	93
5.1.2 Enceintes pour commutateurs et sélecteurs en charge	93
5.1.3 Indicateurs de niveau de liquide et dispositifs de surveillance de gaz	93
5.1.4 Exigences de sécurité pour la protection contre la défaillance interne	94
5.1.5 Dispositifs de limitation pour la protection contre les surtensions transitoires	94
5.1.6 Tensions de rétablissement des présélecteurs	95
5.1.7 Inductance de fuite dans des configurations à enroulements grossier/fin	95
5.2 Essais de type	95
5.2.1 Généralités	95
5.2.2 Échauffement des contacts	95
5.2.3 Essais de coupure	97
5.2.4 Essai au courant de court-circuit	102
5.2.5 Essai d'impédance de passage	103
5.2.6 Essais mécaniques	104
5.2.7 Essai d'étanchéité	106
5.2.8 Essais diélectriques	108
5.2.9 Certificat d'essai de type	113
5.3 Essais individuels de série	113
5.3.1 Généralités	113
5.3.2 Essai mécanique	113
5.3.3 Essai de succession des opérations	113
5.3.4 Essai diélectrique des circuits auxiliaires	113
5.3.5 Essais sous pression et sous vide	114
6 Exigences pour les mécanismes d'entraînement à moteur des changeurs de prises en charge	114
6.1 Exigences générales	114
6.1.1 Conformité des composants	114
6.1.2 Variation admissible de l'alimentation des auxiliaires	114
6.1.3 Contrôle pas à pas	114
6.1.4 Indicateur de position de changeur de prises	114
6.1.5 Indication du changement de prise en cours	114
6.1.6 Dispositifs de fin de course	114
6.1.7 Dispositifs de commande de marche en parallèle	115
6.1.8 Protection du sens de rotation	115

6.1.9	Dispositif de blocage en présence de surintensité	115
6.1.10	Dispositif de redémarrage.....	115
6.1.11	Compteur de manœuvres	115
6.1.12	Fonctionnement manuel du mécanisme d'entraînement à moteur	115
6.1.13	Armoire du mécanisme d'entraînement à moteur	115
6.1.14	Dispositif de protection contre le passage de plusieurs positions.....	116
6.1.15	Protection contre l'accès aux parties dangereuses	116
6.2	Essais de type.....	116
6.2.1	Essai de tenue mécanique.....	116
6.2.2	Essai de dépassement des positions extrêmes	116
6.2.3	Degré de protection de l'armoire de l'entraînement à moteur	116
6.3	Essais individuels de série	117
6.3.1	Essais mécaniques.....	117
6.3.2	Essai d'isolation des circuits auxiliaires	117
7	Exigences pour les changeurs de prises non alimentés	117
7.1	Exigences générales	117
7.1.1	Caractéristiques assignées.....	117
7.1.2	Types	117
7.1.3	Manettes et entraînements	117
7.1.4	Presse-étoupes	118
7.1.5	Verrouillages	118
7.1.6	Fins de course mécaniques	118
7.2	Essais de type.....	118
7.2.1	Généralités.....	118
7.2.2	Échauffement des contacts.....	118
7.2.3	Essai au courant de court-circuit	119
7.2.4	Essais mécaniques.....	120
7.2.5	Essais diélectriques.....	121
7.2.6	Certificat d'essai de type	126
7.3	Essais individuels de série	126
7.3.1	Essais mécaniques.....	126
7.3.2	Essais sous pression et sous vide	126
8	Exigences pour les mécanismes d'entraînement à moteur des changeurs de prises non alimentés.....	126
8.1	Exigences générales	126
8.1.1	Généralités.....	126
8.1.2	Conformité des composants	126
8.1.3	Variation admissible de l'alimentation des auxiliaires.....	126
8.1.4	Indicateur de position de changeur de prises	127
8.1.5	Dispositifs de fin de course.....	127
8.1.6	Compteur de manœuvres	127
8.1.7	Fonctionnement manuel du mécanisme d'entraînement à moteur	127
8.1.8	Armoire du mécanisme d'entraînement à moteur	127
8.1.9	Protection contre l'accès aux parties dangereuses	127
8.2	Essais de type.....	128
8.2.1	Essai de tenue mécanique.....	128
8.2.2	Essai de dépassement des positions extrêmes	128
8.2.3	Degré de protection de l'armoire de l'entraînement à moteur	128
8.3	Essais individuels de série	128

8.3.1	Essais mécaniques.....	128
8.3.2	Essai d'isolation des circuits auxiliaires.....	129
9	Plaque signalétique.....	129
9.1	Changeurs de prises (en charge et non alimentés).....	129
9.2	Mécanismes d'entraînement à moteur.....	129
10	Étiquette de mise en garde pour changeurs de prises non alimentés.....	129
11	Instructions de fonctionnement des constructeurs.....	130
Annexe A (normative) Informations supplémentaires sur les conditions de fonctionnement des contacts principaux et des contacts de passage concernant les changeurs de prises de type à résistance.....		131
Annexe B (normative) Informations supplémentaires concernant les conditions de commutation des changeurs de prises de type à bobine d'inductance.....		137
B.1	Paramètres d'essai complémentaires.....	137
B.1.1	Essai d'endurance.....	137
B.1.2	Essai de pouvoir de coupure.....	137
B.2	Conditions de fonctionnement des contacts de coupure.....	137
Annexe C (normative) Méthode de détermination de la température équivalente de la résistance de passage en utilisant une puissance transmise sous forme d'impulsions de courant.....		149
Annexe D (informative) Circuits en courant alternatif équivalents pour les essais d'endurance et de pouvoir de coupure.....		150
D.1	Généralités.....	150
D.2	Méthode avec transformateur.....	150
D.3	Méthode avec résistance.....	151
Annexe E (informative) Exemple de circuit d'essai synthétique pour l'essai d'endurance des changeurs de prises de type à vide.....		153
E.1	Définitions appropriées au circuit d'essai synthétique.....	153
E.1.1	Circuit d'essai synthétique.....	153
E.1.2	Circuit d'essai en courant alternatif équivalent.....	153
E.1.3	Préarc.....	153
E.1.4	Tension d'établissement.....	153
E.2	Exemple de montage d'essai pour un circuit d'essai synthétique.....	153
E.3	Exemple de coupure/fermeture lors d'une commutation.....	154
Bibliographie.....		156
Figure 1 – Courant d'essai de court-circuit (valeur efficace) donné en multiple du courant traversant assigné maximal (changeur de prises en charge).....		103
Figure 2 – Séquence d'application de la tension d'essai (changeur de prises en charge).....		112
Figure 3 – Courant d'essai de court-circuit (valeur efficace) donné en multiple du courant traversant assigné maximal (changeur de prises non alimenté).....		120
Figure 4 – Séquence d'application de la tension d'essai (changeur de prises non alimenté).....		125
Figure 5 – Étiquette de mise en garde (exemple).....		130
Figure A.1 – Exemples de vecteurs de courant et de tension pour les changeurs de prises de type à résistance.....		132
Figure B.1 – Séquence de fonctionnement pour les changeurs de prises de type à bobine d'inductance avec sélecteur en charge.....		138
Figure B.2 – Vecteurs de courant et de tension pour changeurs de prises de type à bobine d'inductance avec sélecteur en charge.....		139

Figure B.3 – Séquence de fonctionnement pour les changeurs de prises de type à bobine d'inductance avec sélecteur en charge et enroulements d'équilibrage	140
Figure B.4 – Vecteurs de courant et de tension pour changeurs de prises de type à bobine d'inductance avec sélecteur en charge et enroulements d'équilibrage	141
Figure B.5 – Séquence de fonctionnement d'un changeur de prises de type à bobine d'inductance avec commutateur et sélecteur de prises.....	143
Figure B.6 – Vecteurs de courant et de tension pour changeurs de prises de type à bobine d'inductance avec commutateur et sélecteur de prises	144
Figure B.7 – Séquence de fonctionnement d'un changeur de prises de type à bobine d'inductance avec interrupteur à vide et sélecteur de prises	147
Figure B.8 – Vecteurs de courant et de tension pour changeurs de prises de type à bobine d'inductance avec interrupteur à vide et sélecteur de prises	148
Figure D.1 – Circuit d'essai équivalent – méthode avec transformateur.....	150
Figure D.2 – Circuit d'essai équivalent – méthode avec résistance	151
Figure E.1 – Circuit d'essai synthétique pour l'essai d'endurance des changeurs de prises de type à vide.....	153
Figure E.2 – Courants du circuit d'essai synthétique	154
Figure E.3 – Exemple d'essai synthétique pour une commutation avec des tensions équivalentes de coupure et de fermeture	155
Tableau 1 – Température de l'environnement du changeur de prises.....	92
Tableau 2 – Limites d'échauffement de contact pour les changeurs de prises en charge	96
Tableau 3 – Niveaux de tension d'essai pour les changeurs de prises en charge	108
Tableau 4 – Limites d'échauffement de contact pour les changeurs de prises non alimentés.....	119
Tableau 5 – Niveaux de tension d'essai pour les changeurs de prises non alimentés.....	122
Tableau A.1 – Conditions de fonctionnement des contacts principaux et des contacts de passage pour les changeurs de prises de type à résistance (de type sans vide)	133
Tableau A.2 – Effet du facteur de puissance de la charge sur les conditions de fonctionnement des circuits de coupure pour les changeurs de prises de type à résistance (de type sans vide)	134
Tableau A.3 – Conditions de fonctionnement des contacts principaux et des contacts de passage pour les changeurs de prises de type à résistance (de type à vide) (1 de 2).....	135
Tableau B.1 – Conditions de fonctionnement des contacts de coupure pour les changeurs de prises de type à bobine d'inductance avec sélecteur en charge – sens de commutation de P1 à P5	138
Tableau B.2 – Conditions de fonctionnement des contacts de coupure pour les changeurs de prises de type à bobine d'inductance avec sélecteur en charge et enroulements d'équilibrage – sens de commutation de P1 à P5	140
Tableau B.3 – Conditions de fonctionnement des contacts de coupure d'un changeur de prises de type à bobine d'inductance avec commutateur et sélecteur de prises – sens de commutation de P1 à P7.....	142
Tableau B.4 – Conditions de fonctionnement des contacts de coupure pour changeurs de prises de type à bobine d'inductance avec interrupteur à vide et sélecteur de prises – sens de commutation de P1 à P11	145

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CHANGEURS DE PRISES –

Partie 1: Prescriptions de performances et méthodes d'essai

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60214-1 a été établie par le comité d'études 14 de l'IEC: Transformateurs de puissance.

Cette deuxième édition de l'IEC 60214-1 annule et remplace la première édition parue en 2003. Cette édition constitue une révision technique.

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

- intégration des exigences concernant les changeurs de prises en charge de type à vide,
- intégration des exigences concernant les changeurs de prises à isolation gazeuse,
- changements portant sur les essais de type afin de répondre aux conditions de service,
- référence à la nouvelle édition de l'IEC 60076-3:2013.

La présente version bilingue (2014-12) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2014-05.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 14/746/CDV et 14/767A/RVC.

Le rapport de vote 14/767A/RVC donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60214, publiées sous le titre général *Changeurs de prises*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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.

CHANGEURS DE PRISES –

Partie 1: Prescriptions de performances et méthodes d'essai

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60214 s'applique aux changeurs de prises en charge aussi bien de type à résistance qu'à bobine d'inductance, aux changeurs de prises non alimentés et à leurs mécanismes d'entraînement à moteur.

Elle s'applique essentiellement aux changeurs de prises immergés dans de l'huile minérale isolante selon l'IEC 60296, mais elle peut également être utilisée pour des changeurs de prises à isolation gazeuse ou dans l'air, ou immergés dans d'autres liquides isolants, dans la mesure où les conditions sont applicables.

Elle s'applique essentiellement aux changeurs de prises avec contacts d'arc, mais peut également être utilisée pour les changeurs de prises en charge sans arc (tels que les changeurs à coupure électronique), dans la mesure où les conditions sont applicables.

La présente partie de l'IEC 60214 s'applique à tous les types de transformateurs pour applications de puissance et de distribution et également aux bobines d'inductance.

Elle ne s'applique pas aux transformateurs et bobines d'inductance montés sur matériel roulant ferroviaire.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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).

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International* (disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-421, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 421: Transformateurs de puissance et bobines d'inductance*

IEC 60060-1, *Technique des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

IEC 60076-3:2013, *Transformateurs de puissance – Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air*

IEC 60076-7:2005, *Transformateurs de puissance – Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile*

IEC 60076-21:2011, *Power transformers – Part 21: Standard requirements, terminology, and test code for step-voltage regulators* (disponible en anglais seulement)

IEC 60137:2008, *Traversées isolées pour tensions alternatives supérieures à 1 000 V*

IEC 60214-2:2004, *Tap-changers – Part 2: Application guide* (disponible en anglais seulement)

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

IEC 60296, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillages de connexion*

IEC 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-421, ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

changeur de prises en charge

OLTC

dispositif destiné à changer les connexions aux prises d'un enroulement et pouvant être manœuvré lorsque le transformateur est sous tension ou en charge

Note 1 à l'article: Les changeurs de prises en charge (ou "on-load tap-changers" en anglais) sont parfois appelés load tap-changers (LTC) en anglais.

Note 2 à l'article: L'abréviation « OLTC » est dérivée du terme anglais développé correspondant « on-load tap-changer ».

3.2

changeur de prises en charge de type sans vide

changeur de prises en charge comportant des contacts qui établissent et coupent la charge, ainsi que les courants de circulation, et où l'arc se produit dans un liquide ou un gaz, le changeur de prises proprement dit étant placé dans un liquide ou un gaz

Note 1 à l'article: Cette définition ne s'applique pas aux changeurs de prises en charge sans arc.

3.3

changeur de prises en charge de type à vide

changeur de prises en charge où les interrupteurs à vide établissent et coupent la charge, ainsi que les courants de circulation, le changeur de prises proprement dit étant placé dans un milieu différent tel qu'un liquide ou un gaz

3.4

sélecteur de prises

dispositif destiné à conduire le courant, mais non à l'établir ou à le couper, utilisé conjointement avec un commutateur pour établir à l'avance les connexions aux prises

3.5

commutateur

dispositif de coupure utilisé conjointement avec un sélecteur de prises pour conduire, établir et couper les courants dans les circuits qui ont été établis à l'avance

Note 1 à l'article: Les commutateurs sont parfois appelés commutateurs d'arc.

3.6

sélecteur en charge

dispositif de coupure pouvant conduire, établir et couper les courants en combinant les fonctions d'un sélecteur de prises et d'un commutateur

Note 1 à l'article: Les sélecteurs en charge sont parfois appelés commutateurs d'arc de prises.

Note 2 à l'article: Dans les sélecteurs en charge de type sans vide, le choix des connexions aux prises (fonction d'un sélecteur de prises) et la commutation du courant traversant (fonction de commutateur) sont réalisés par les mêmes contacts.

Note 3 à l'article: Dans les sélecteurs en charge de type à vide, le choix des connexions aux prises (fonction d'un sélecteur de prises) et la commutation du courant traversant (fonction de commutateur) sont réalisés par des contacts différents.

3.7 **changeur de prises non alimenté** **DETC**

dispositif destiné à changer les connexions aux prises d'un enroulement et pouvant être manœuvré uniquement lorsque le transformateur est hors tension (isolé du système)

Note 1 à l'article: Les changeurs de prises non alimentés sont parfois appelés changeurs de prises hors circuit.

Note 2 à l'article: Les changeurs de prises non alimentés sont parfois désignés par l'abréviation DTC.

Note 3 à l'article: L'abréviation « DETC » est dérivée du terme anglais développé correspondant « de-energized tap-changer ».

3.8 **présélecteur**

dispositif destiné à conduire le courant traversant, mais non à l'établir ou le couper, utilisé avec un sélecteur de prises ou un sélecteur en charge pour permettre d'utiliser ses contacts et les prises qui leur sont reliées plus d'une fois au cours du déplacement d'une position extrême à l'autre

3.9 **présélecteur à réglage grossier**

présélecteur mettant en contact l'enroulement de réglage soit avec l'enroulement grossier soit avec l'enroulement principal ou des parties de ceux-ci

3.10 **présélecteur inverseur**

présélecteur mettant en contact une des extrémités de l'enroulement de réglage avec l'enroulement principal

3.11 **impédance de passage**

résistance ou bobine d'inductance comprenant un ou plusieurs éléments reliant la prise en service à celle à mettre en service afin de transférer la charge d'une prise à l'autre sans interrompre le courant de charge ni le modifier sensiblement, tout en limitant le courant de circulation pendant le temps où les deux prises sont reliées

Note 1 à l'article: Pour les changeurs de prises de type à bobine d'inductance, l'impédance de passage (bobine d'inductance) est habituellement appelée autotransformateur préventif. Les changeurs de prises de type à bobine d'inductance utilisent normalement la position de liaison comme position de service (changeurs de prises en charge à bobine d'inductance à connexion au point milieu), et par conséquent, la bobine d'inductance est conçue pour le fonctionnement continu.

3.12 **autotransformateur préventif**

autotransformateur (ou bobine d'inductance à connexion au point milieu) utilisé dans des transformateurs de changement de prise en charge et des transformateurs régulateurs ou des régulateurs de tension d'échelon pour limiter le courant de circulation lorsqu'ils fonctionnent dans une position où deux prises adjacentes sont reliées, ou pendant le changement de prise entre positions adjacentes

3.13**enroulement d'équilibrage**

enroulement sur le même circuit magnétique (noyau) que l'enroulement d'excitation et l'enroulement de réglage d'un transformateur régulateur de type à bobine d'inductance avec environ la moitié du nombre de spires de chaque section de prise

3.14**mécanisme d'entraînement**

dispositif qui assure le mouvement du changeur de prises

Note 1 à l'article: Ce mécanisme peut comprendre un dispositif d'accumulation d'énergie indépendant pour contrôler l'opération.

3.15**jeu de contacts**

paire ou combinaison de paires de contacts individuels fixes et mobiles fonctionnant pratiquement en même temps

3.16**contacts principaux du commutateur et du sélecteur en charge** <d'un changeur de prises de type à résistance>

jeu de contacts conduisant le courant traversant qui shunte habituellement le contact principal de coupure et commute uniquement tout courant quel qu'il soit (une formation d'étincelles se produit souvent)

3.17**contacts principaux de coupure du commutateur et du sélecteur en charge** <d'un changeur de prises de type à résistance>

jeu de contacts pour lequel il n'y a pas de résistance de passage entre l'enroulement du transformateur et les contacts et qui établit et coupe le courant (un arc se produit)

Note 1 à l'article: Dans le cas des changeurs de prises de type à vide, des interrupteurs à vide se substituent à ces systèmes de protection à contact.

3.18**contacts de passage du commutateur et du sélecteur en charge** <d'un changeur de prises de type à résistance>

jeu de contacts qui est connecté en série à une résistance de passage et qui établit ou coupe le courant (un arc se produit)

Note 1 à l'article: Dans le cas des changeurs de prises de type à vide, des interrupteurs à vide se substituent à ces systèmes de protection à contact.

3.19**contacts de transfert** <d'un changeur de prises de type à bobine d'inductance>

jeu de contacts qui établit ou coupe le courant

Note 1 à l'article: En l'absence de contacts de shuntage, le contact de transfert est un contact parcouru par un courant continu.

3.20**contacts de shuntage** <d'un changeur de prises de type à bobine d'inductance>

jeu de contacts conduisant le courant traversant qui commute le courant vers les contacts de transfert sans aucun arc (une formation d'étincelles peut se produire)

3.21**position de liaison**

position d'un changeur de prises de type à bobine d'inductance où les contacts de sélecteur et de transfert sont situés sur deux prises adjacentes et où la borne de sortie se situe électriquement au centre de deux prises adjacentes

3.22**position d'absence de liaison**

position d'un changeur de prises de type à bobine d'inductance où les contacts de sélecteur et de transfert sont situés sur la même prise

3.23**courant de circulation**

part du courant circulant dans l'impédance de passage pendant le temps où deux prises sont reliées temporairement au cours d'un changement de prise pour un changeur de prises de type à résistance ou en position de fonctionnement pour un changeur de prises de type à bobine d'inductance

Note 1 à l'article: Le courant de circulation est dû à la différence de tension entre les prises.

3.24**courant commuté**

courant qu'il est prévu de couper durant une commutation par chaque jeu de contacts principaux de coupure ou de contacts de passage (changeur de prises de type à résistance) ou contacts de transfert (changeur de prises de type à bobine d'inductance) du commutateur ou du sélecteur en charge

3.25**tension de rétablissement**

tension à fréquence industrielle qui apparaît aux bornes de chaque jeu de contacts principaux de coupure ou de contacts de passage (changeur de prises de type à résistance) ou contacts de transfert (changeur de prises de type à bobine d'inductance) du commutateur ou du sélecteur en charge après que ces contacts ont coupé le courant commuté

3.26**opération de changement de prise**

succession complète des manœuvres du commencement à la fin d'un changement de prise d'une position de prise en service à une position adjacente

3.27**cycle de fonctionnement**

succession des opérations du changeur de prises d'une extrémité de son étendue de réglage à l'autre et retour à sa position initiale

3.28**niveau d'isolement assigné**

valeurs des tensions de tenue au choc et des tensions appliquées à la terre, et le cas échéant, entre phases, et entre les parties pour lesquelles l'isolation est exigée

3.29**courant traversant assigné** I_r

courant passant à travers le changeur de prises en charge vers le circuit extérieur, que l'appareil est capable de transférer d'une prise à l'autre, à la tension d'échelon assignée correspondante et qu'il peut supporter en service continu en respectant les exigences de la présente norme

3.30**courant traversant assigné maximal** I_{rm}

courant traversant assigné le plus élevé pour lequel le changeur de prises est conçu et sur lequel tous les essais liés au courant sont fondés

3.31**tension d'échelon assignée** U_{ir}

pour chaque valeur du courant traversant assigné, tension maximale admissible entre bornes destinées à être reliées à des prises successives du transformateur

3.32**tension d'échelon assignée applicable**

plus grande valeur de la tension d'échelon admise avec un courant traversant assigné donné

3.33**tension d'échelon assignée maximale** U_{irm}

plus grande valeur de la tension d'échelon assignée pour laquelle le changeur de prises est conçu

3.34**fréquence assignée**

fréquence du courant alternatif pour laquelle le changeur de prises est conçu

3.35**nombre de positions de prise disponibles**

plus grand nombre de positions de prise pendant un demi-cycle de fonctionnement pour lequel un changeur de prises peut être utilisé en fonction de sa conception

Note 1 à l'article: Le terme «position de prise» est généralement exprimé en valeurs \pm du nombre considéré, par exemple ± 11 positions. Elles sont en principe aussi valables pour le mécanisme d'entraînement à moteur. Lorsqu'on utilise le terme 'nombre de positions de prise' concernant un transformateur, il fait toujours référence au nombre de positions de prise de service du transformateur considéré.

3.36**nombre de positions de prise de service**

nombre de positions de prise pendant un demi-cycle de fonctionnement pour lequel un changeur de prises est utilisé dans un transformateur

Note 1 à l'article: Le terme «position de prise» est généralement exprimé en valeurs \pm du nombre considéré, par exemple ± 11 positions. Elles sont en principe aussi valables pour le mécanisme d'entraînement à moteur. Lorsqu'on utilise le terme « nombre de positions de prise » concernant un transformateur, il fait toujours référence au nombre de positions de prise de service du transformateur considéré.

3.37**essai de type**

essai réalisé sur un changeur de prises représentatif des autres changeurs de prises, afin de démontrer que ces changeurs de prises satisfont aux exigences spécifiées non couvertes par les essais individuels de série: un changeur de prises est considéré représentatif des autres s'il est constitué selon les mêmes plans au moyen des mêmes techniques et des mêmes matériaux

Note 1 à l'article: En général, un essai de type peut être effectué sur un changeur de prises ou sur ses composants, voire une famille de changeurs de prises ou de composants.

Note 2 à l'article: Une famille de changeurs de prises est un ensemble de changeurs de prises de même conception et possédant les mêmes caractéristiques, à l'exception des niveaux d'isolement à la terre et éventuellement entre phases, du nombre d'échelons et, dans le cas des OLTC, de la valeur d'impédance de passage.

Note 3 à l'article: Les variations de conception clairement inadaptées à un essai de type particulier n'exigeraient pas une répétition de l'essai de type.

Note 4 à l'article: Les variations de conception qui engendrent une réduction des valeurs et des contraintes adaptées à un essai de type particulier n'exigent pas de nouvel essai de type, si elles sont acceptées par l'acheteur et le constructeur.

3.38**essai individuel de série**

essai auquel est soumis chaque changeur de prises individuel

Note 1 à l'article: En général, un essai individuel de série peut être effectué sur un changeur de prises ou sur ses composants.

3.39**mécanisme d'entraînement à moteur**

mécanisme d'entraînement comprenant un moteur électrique et des circuits de commande et de contrôle

3.40**dispositif de commande pas-à-pas** <d'un mécanisme d'entraînement à moteur>

dispositif destiné à stopper le mécanisme d'entraînement à moteur après un changement de prise, indépendamment de la séquence de fonctionnement du dispositif de commande

3.41**indicateur de position de prise**

dispositif destiné à indiquer sur quelle prise se trouve le changeur de prises

3.42**indicateur de changement de prise en cours**

dispositif destiné à indiquer que le mécanisme d'entraînement à moteur est en marche

3.43**interrupteurs de fin de course**

dispositifs destinés à empêcher le fonctionnement du changeur de prises au-delà des positions extrêmes, mais permettant le fonctionnement dans le sens opposé

3.44**fin de course mécanique**

dispositif qui empêche physiquement le fonctionnement du changeur de prises au-delà des positions extrêmes, mais qui permet le fonctionnement dans le sens opposé

3.45**dispositif de commande de marche en parallèle**

dispositif de commande destiné à faire manœuvrer, dans le cas du fonctionnement en parallèle de plusieurs transformateurs avec des prises, tous les changeurs de prises vers la position désirée et à éviter toute discordance des mécanismes d'entraînement à moteur respectifs

Note 1 à l'article: De tels dispositifs seraient nécessaires également dans le cas de transformateurs monophasés constituant un groupe triphasé lorsque chaque changeur de prises monophasé est équipé de ses propres mécanismes d'entraînement à moteur.

3.46**dispositif de déclenchement d'urgence**

dispositif destiné à stopper le mécanisme d'entraînement à moteur à tout moment de telle manière qu'une action particulière est à réaliser avant que le changement de prise suivant puisse commencer

3.47**dispositif de blocage en présence de surintensité**

dispositif destiné à empêcher ou interrompre le fonctionnement du mécanisme d'entraînement à moteur tant qu'une surintensité dépassant une valeur prééglée circule dans l'enroulement du transformateur

Note 1 à l'article: Lorsque les commutateurs ou sélecteurs en charge sont actionnés par des systèmes à ressort, l'interruption du fonctionnement du mécanisme d'entraînement à moteur n'empêche pas le fonctionnement du commutateur ou du sélecteur en charge si le déclenchement à ressort a été actionné.

3.48

dispositif de redémarrage

dispositif destiné à redémarrer le mécanisme d'entraînement à moteur après une interruption de la tension d'alimentation pour terminer une opération de changement de prise déjà commencée

3.49

compteur de manœuvres

dispositif destiné à indiquer le nombre de changements de prises réalisé

3.50

commande manuelle du mécanisme d'entraînement à moteur

manœuvre manuelle du changeur de prises par un dispositif, bloquant en même temps la manœuvre par le moteur électrique

3.51

armoire du mécanisme d'entraînement à moteur

armoire qui abrite le mécanisme d'entraînement à moteur

3.52

dispositif de protection contre le passage de plusieurs positions

dispositif qui stoppe le mécanisme d'entraînement à moteur en cas de défaillance du circuit de commande pas-à-pas qui laisserait le mécanisme passer plusieurs positions de prises

3.53

changeur de prises de classe I

changeur de prises pouvant être seulement utilisé au point neutre des enroulements

3.54

changeur de prises de classe II

changeur de prises pouvant être utilisé en toute position des enroulements

3.55

changeur de prises monté dans un réservoir

changeur de prises monté à l'intérieur du réservoir principal du transformateur et immergé dans le liquide isolant du transformateur

Note 1 à l'article: Voir l'IEC 60214-2 pour plus de détails.

3.56

changeur de prises de type à enceinte

changeur de prises dont le boîtier est monté à l'extérieur du réservoir principal du transformateur et immergé dans son propre liquide isolant

Note 1 à l'article: Voir l'IEC 60214-2 pour plus de détails.

3.57

changeur de prises immergé dans un gaz

changeur de prises monté à l'intérieur du réservoir principal du transformateur de type à remplissage de gaz ou dans un conteneur à l'extérieur du réservoir principal et immergé dans le gaz isolant

Note 1 à l'article: Habituellement, le gaz isolant est le SF₆.

3.58

changeur de prises isolé dans l'air

changeur de prises dont le milieu isolant est l'air à la pression atmosphérique

Note 1 à l'article: Ce type de changeur de prises est habituellement monté sur un transformateur de type sec et ne nécessite pas de disposer de son propre conteneur.

3.59

maintenance

mesure concernant le changeur de prises qui nécessite la mise hors service du transformateur

Note 1 à l'article: L'inspection est une mesure concernant le changeur de prises qui ne nécessite pas la mise hors service du transformateur.

Note 2 à l'article: Le remplacement des pièces dépend des constatations issues de la maintenance.

3.60

tension la plus élevée pour un matériel

U_m

tension entre phases la plus élevée en valeur efficace dans un réseau triphasé pour laquelle un changeur de prises est prévu en fonction de son isolation

4 Conditions de service

4.1 Température de l'environnement du changeur de prises

À moins que des conditions plus sévères ne soient spécifiées par l'acheteur, les changeurs de prises immergés dans un liquide doivent être considérés comme pouvant être utilisés dans les plages de températures indiquées au Tableau 1.

Tableau 1 – Température de l'environnement du changeur de prises

Changeur de prises	Température	
	Minimale	Maximale
Changeur de prises de type à enceinte	-25 °C	40 °C
Changeur de prises monté dans un réservoir	-25 °C	105 °C
NOTE 1 Pour les définitions du changeur de prises, voir 3.55 et 3.56.		
NOTE 2 La valeur de 105 °C susmentionnée est basée sur la température maximale d'huile sur la partie supérieure en cas de chargement cyclique normal tel que spécifié dans l'IEC 60076-7.		
NOTE 3 Les températures de liquide minimale et maximale des régulateurs de tension d'échelon établies dans l'IEC 60076-21 prévalent.		

4.2 Température de l'environnement du mécanisme d'entraînement à moteur

À moins que des conditions plus sévères ne soient spécifiées par l'acheteur, les mécanismes d'entraînement à moteur doivent être considérés comme pouvant être utilisés à toute température ambiante comprise entre -25 °C et 40 °C.

Pour des conditions plus sévères d'environnements de changeurs de prises ou de mécanismes d'entraînement à moteur, il convient de se référer à l'IEC 60214-2.

4.3 Conditions de surcharge

Les changeurs de prises qui sont conformes à la présente norme et qui sont choisis et installés conformément à l'IEC 60214-2 ne doivent pas limiter le chargement d'urgence du

transformateur conformément à l'IEC 60076-7, ce qui pourrait entraîner des températures d'huile sur la partie supérieure de l'ordre de 115 °C.

Voir la Note 3 du Tableau 1 dans lequel la limite de température maximale de liquide des régulateurs de tension d'échelon se rapporte à une surcharge de 200 % pendant une demi-heure.

5 Exigences pour les changeurs de prises en charge

5.1 Exigences générales

5.1.1 Caractéristiques assignées

5.1.1.1 Caractéristiques assignées

Les caractéristiques assignées d'un changeur de prises en charge sont les suivantes:

- courant traversant assigné;
- courant traversant assigné maximal;
- tension d'échelon assignée;
- tension d'échelon assignée maximale;
- fréquence assignée;
- niveau d'isolement assigné.

5.1.1.2 Corrélation entre le courant traversant assigné et la tension d'échelon assignée

Dans la limite de la valeur du courant traversant assigné maximal d'un changeur de prises en charge, il peut exister différentes combinaisons de valeurs du courant traversant assigné et de la tension d'échelon assignée correspondante. Lorsqu'une valeur de la tension d'échelon assignée se réfère à une valeur spécifique du courant traversant assigné, elle est appelée «tension d'échelon assignée correspondante».

5.1.2 Enceintes pour commutateurs et sélecteurs en charge

Les enceintes remplies de liquides pour les commutateurs et les sélecteurs en charge doivent être étanches aux liquides. Les enceintes remplies de gaz pour les commutateurs et les sélecteurs en charge doivent être étanches au gaz. Le cas échéant, des valeurs de tenue à la pression et au vide doivent être fixées par le constructeur.

Si le liquide isolant est à contrôler par une analyse des gaz dissous et des gaz libres (AGD), il convient que l'enceinte remplie de liquide du commutateur ou du sélecteur en charge soit équipée d'un conservateur de liquide comportant une barrière étanche aux liquides et aux gaz. Dans le cas des OLTC de type à vide, il convient de traiter cette question entre le constructeur de transformateurs et le client.

5.1.3 Indicateurs de niveau de liquide et dispositifs de surveillance de gaz

Les enceintes remplies de liquide pour les commutateurs ou les sélecteurs en charge de volume d'expansion intégré ou avec des conservateurs séparés pour ces enceintes doivent, le cas échéant, être équipées d'indicateurs de niveau de liquide.

Les enceintes de gaz pour les commutateurs ou les sélecteurs en charge doivent être équipées de dispositifs de surveillance de gaz.

5.1.4 Exigences de sécurité pour la protection contre la défaillance interne

5.1.4.1 Généralités

Afin de limiter les conséquences d'une défaillance interne survenant dans l'enceinte d'un commutateur ou d'un sélecteur en charge, un dispositif de protection doit être prévu. Le dispositif de protection doit comprendre une fonction de détection d'un arc de défaillance ou d'un mode de défaillance qui aboutit en dernier lieu à un arc de défaillance.

Il incombe au constructeur de recommander un dispositif de protection pour l'OLTC sélectionné. Au moins un dispositif de protection doit être prévu.

Les types de dispositifs de protection les plus courants pour les OLTC immergés dans un liquide sont décrits ci-dessous.

Les enceintes de sélecteur de prises des changeurs de prises en charge de type à enceinte sont généralement reliées par un tuyau au relais Buchholz principal du transformateur. Il convient également de veiller à fixer un relais Buchholz séparé entre l'enceinte de sélecteur de prises et le conservateur.

NOTE Pour les types de changeurs de prises en charge qui ne créent pas d'arc et qui sont installés dans des enceintes scellées, d'autres dispositifs de protection peuvent être utilisés.

5.1.4.2 Relais à commande par flux de liquide

Le relais à commande par flux de liquide, installé dans la tuyauterie entre la tête du commutateur ou du sélecteur en charge et le conservateur de liquide, doit réagir à un flux de liquide prédéterminé et permettre de déclencher le transformateur.

5.1.4.3 Relais de surpression

Le relais de surpression doit réagir dans le cas où la pression dans l'enceinte du commutateur ou du sélecteur en charge dépasse une valeur prédéterminée et permettre de déclencher le transformateur.

5.1.4.4 Dispositif limiteur de pression

Le dispositif limiteur de pression doit s'ouvrir lorsqu'une pression prédéterminée est dépassée et son ouverture doit protéger l'enceinte du commutateur ou du sélecteur en charge.

Lorsque le dispositif limiteur de pression constitue la seule protection, il doit également être équipé de contacts pour permettre de déclencher le transformateur.

Si on utilise un dispositif limiteur de pression, l'utilisation d'un type à diaphragme autoétanchéifiant est possible. Il convient aussi d'envisager la fixation d'une sortie comme une canalisation ou une jonction provenant du dispositif limiteur de pression pour protéger le personnel contre le liquide déplacé. Il convient que l'utilisation de tels dispositifs soit soumise à accord entre le constructeur et l'acheteur.

5.1.5 Dispositifs de limitation pour la protection contre les surtensions transitoires

Pour les changeurs de prises en charge comportant des dispositifs de limitation de surtensions transitoires, le constructeur du changeur de prises en charge doit donner tous les détails sur les caractéristiques de protection, ainsi que toute limitation qui pourrait être imposée pendant les essais sur le transformateur complet.

Lorsque des éclateurs sont utilisés, on doit s'assurer que la décharge s'éteint automatiquement après amorçage.

5.1.6 Tensions de rétablissement des présélecteurs

Lorsque des présélecteurs à réglage grossier ou inverseurs fonctionnent, ils déconnectent momentanément l'enroulement de réglage. Ceci peut causer des tensions de rétablissement élevées à travers les contacts du présélecteur pendant la séparation de contact en raison du couplage capacitif entre l'enroulement de réglage et le ou les enroulements adjacents. Le constructeur de changeur de prises en charge doit déclarer tout paramètre de limitation de commutation pour les présélecteurs incorporés dans un changeur de prises en charge.

NOTE L'IEC 60214-2 donne plus de précisions sur la sélection, les circuits et les dispositifs de commande et les recommandations d'essai pour les transformateurs.

5.1.7 Inductance de fuite dans des configurations à enroulements grossier/fin

Lors de changements de l'extrémité de l'enroulement de réglage vers l'extrémité de l'enroulement grossier ou inversement avec des changeurs de prises de type à résistance, une inductance de fuite élevée peut être créée avec les deux enroulements en opposition de série. Ceci peut causer un décalage de phase entre le courant commuté et la tension de rétablissement du commutateur ou du sélecteur en charge. Ceci peut provoquer un arc étendu du commutateur.

Le constructeur de changeur de prises en charge doit déclarer toute limitation de commutation.

NOTE L'IEC 60214-2 donne plus de précisions sur la sélection et les configurations d'enroulement concernant l'inductance de fuite.

5.2 Essais de type

5.2.1 Généralités

Les essais de type suivants doivent être réalisés sur des échantillons des changeurs de prises en charge appropriés après leur fabrication complète ou sur des composants équivalents à condition que le constructeur puisse démontrer que les conditions d'essai correspondantes et leurs résultats ne sont pas influencés lorsqu'on soumet à essai uniquement les composants et non le changeur de prises complet:

NOTE Aucune différenciation n'est à faire en ce qui concerne les essais d'alimentation avec des fréquences de 50 Hz ou 60 Hz. Les essais peuvent être effectués avec l'une ou l'autre fréquence.

- échauffement des contacts (5.2.2);
- essais de coupure (5.2.3);
- essai au courant de court-circuit (5.2.4);
- essai d'impédance de passage (5.2.5);
- essais mécaniques (5.2.6);
- essai d'étanchéité (5.2.7);
- essais diélectriques (5.2.8).

5.2.2 Échauffement des contacts

Des essais doivent être réalisés pour vérifier que l'échauffement au-dessus du milieu ambiant de chaque type de contact qui, en service, conduit en permanence le courant traversant ne dépasse pas les valeurs indiquées au Tableau 2, lorsque les contacts ont atteint une température stable lorsqu'ils conduisent 1,2 fois le courant traversant assigné maximal. Les contacts qu'il convient de soumettre à essai sont ceux qui, en service, conduisent en permanence le courant et qui s'ouvrent et se ferment ou sont déplacés à un moment donné au cours de la durée de vie utile ou en cours de maintenance, à l'exception des raccordements boulonnés.

NOTE 1 Lorsqu'un contact parcouru par un courant conduit au moins 90 % du courant traversant, il n'est pas nécessaire de mesurer l'échauffement des contacts shuntés.

NOTE 2 Il n'est pas nécessaire de mesurer les contacts qui fonctionnent à vide.

Pour les changeurs de prises de type à bobine d'inductance sans enroulement d'équilibrage, l'échauffement le plus important intervient en position de liaison qui applique la tension de prise la plus élevée sur la bobine d'inductance.

Pour les changeurs de prises de type à bobine d'inductance avec enroulement d'équilibrage, l'échauffement le plus important intervient en position de liaison ou d'absence de liaison. L'autotransformateur préventif (bobine d'inductance) est mis sous tension dans toutes les positions de prises (liaison et absence de liaison). L'échauffement le plus important intervient en position de liaison et d'absence de liaison qui applique la tension de prise totale la plus élevée sur la bobine d'inductance.

Le courant dans ces positions est déterminé par le courant traversant, ainsi que par le courant de circulation et le facteur de puissance du courant traversant. L'essai de type doit être effectué dans la position dans laquelle le courant total le plus élevé circule dans le changeur de prises. Les courants sont calculés sur la base suivante:

- courant traversant égal à 1,2 fois le courant traversant assigné maximal;
- courant de circulation égal à 50 % du courant traversant assigné maximal (ou autre spécification du constructeur indiquée dans le rapport d'essai de type);
- facteur de puissance égal à 80 %.

Se référer à l'Annexe A et à l'Annexe B pour les conditions les plus sévères pour les changeurs de prises de type à résistance et à bobine d'inductance, respectivement, pour la majorité des configurations de contacts.

Le fait de satisfaire à ces conditions démontre l'aptitude à la surcharge selon 4.3.

Tableau 2 – Limites d'échauffement de contact pour les changeurs de prises en charge

Matériau de contact	Dans l'air K	Dans du gaz SF ₆ K	Dans du liquide K
Cuivre seul	35	40	20
Cuivre argenté/alliages	65	40	20
Autres matériaux	Suivant accord	Suivant accord	20

Avec le gaz SF₆, la température de contact maximale admissible dans des conditions de surcharge est de 150 °C. Lorsque la température du SF₆ est régulée par une méthode spécifique, le constructeur doit spécifier un échauffement admissible des contacts, qui prend en considération la température réduite du gaz SF₆ environnant l'OLTC. Les essais ultérieurs effectués par le constructeur à l'aide de cette méthode doivent vérifier que la température maximale admissible des contacts (150 °C) n'est pas dépassée.

Lorsque le milieu environnant est liquide, l'essai doit être réalisé à une température initiale du liquide non supérieure à 40 °C et non inférieure à 10 °C.

La température du milieu environnant ne doit pas être mesurée à moins de 25 mm en dessous des contacts.

La température doit être mesurée par des thermocouples ou d'autres dispositifs convenables placés de manière à reproduire avec exactitude la température de contact réelle aussi près que possible du point de contact. Il convient que le dispositif de mesure soit intégré au contact ou soudé ou brasé sur le contact de sorte qu'il mesure la température globale du contact et non la température de l'interface entre le contact et le milieu de refroidissement.

Le conditionnement en température est considéré comme stable lorsque la différence de température entre le contact et le milieu environnant ne varie pas de plus de 1 K pendant une heure.

La section et l'isolation du conducteur amenant le courant au changeur de prises en charge ou à ses composants en essai doivent être indiquées.

5.2.3 Essais de coupure

5.2.3.1 Généralités

Les essais de coupure qui comprennent des essais d'endurance et des essais de pouvoir de coupure doivent simuler les conditions les plus sévères pour lesquelles le changeur de prises en charge est défini. Se référer à l'Annexe A et à l'Annexe B pour les conditions les plus sévères pour les changeurs de prises de type à résistance et à bobine d'inductance, ainsi que pour les changeurs de prises de type à vide et de type sans vide, respectivement, pour la majorité des configurations de contacts.

Pour les changeurs de prises en charge de type à vide, l'essai de pouvoir de coupure doit être effectué après l'essai d'endurance à l'aide du même échantillon d'essai.

Les essais de coupure peuvent être limités au commutateur ou au sélecteur en charge s'il a été prouvé que les conditions de fonctionnement des contacts ne sont pas affectées par de telles limitations.

Si le commutateur ou le sélecteur en charge possède plusieurs jeux de contacts fonctionnant dans un ordre défini, il n'est pas admis de soumettre séparément chaque jeu de contacts aux essais, à moins qu'il ne puisse être prouvé que les conditions de fonctionnement de tout jeu de contacts ne sont pas altérées par le fonctionnement des autres jeux de contacts.

Si les impédances de passage sont des résistances, celles-ci peuvent être placées à l'extérieur de l'appareil si ceci est nécessaire de par la construction du changeur de prises en charge ou du circuit d'essai et elles peuvent avoir une capacité thermique supérieure à celle des résistances utilisées en service, sauf spécification contraire.

La valeur et le type d'impédance de passage doivent être indiqués.

Dans le cas de changeurs de prises immergés dans un liquide, ni les contacts, ni le liquide du transformateur ne doivent être renouvelés au cours des essais.

Dans le cas de coupures triphasées, il est normalement suffisant de soumettre aux essais les contacts d'une seule phase.

Si un changeur de prises en charge particulier a plus d'une combinaison de courant traversant assigné et de tension d'échelon assignée, on doit réaliser au moins deux essais de pouvoir de coupure, un avec le courant traversant assigné maximal I_{rm} et la tension d'échelon correspondante U_{ir} , et l'autre avec la tension d'échelon assignée maximale U_{irm} et son courant traversant assigné correspondant I_r .

La courbe de coupure peut être établie en utilisant les résultats des deux essais ci-dessus et une valeur de tension au point milieu calculée selon la formule suivante:

$$\frac{I_{rm} + I_r}{2}(U_x) = \sqrt{U_{ir} I_{rm} \times U_{irm} I_r}$$

Les dispositions d'essai doivent être telles que, sauf spécification contraire, ni le courant commuté, ni la tension de rétablissement, ni le produit de ces deux valeurs ne doivent, en aucun cas, être inférieurs à 95 % des valeurs calculées appropriées au cycle de commutation, voir Tableaux A.1 et A.3 et Tableaux B.1, B.2, B.3 et B.4 au courant traversant approprié et à la tension d'échelon assignée correspondante.

5.2.3.2 Essai d'endurance

5.2.3.2.1 Généralités

Cet essai doit être réalisé conformément à l'un des essais de 5.2.3.2.2 à 5.2.3.2.6, et la méthode appropriée est à déterminer par le constructeur. Après les essais, des contrôles de l'usure des contacts doivent avoir lieu et les résultats ne doivent laisser aucun doute sur l'aptitude du changeur de prises en charge à assurer son service. Le nombre de changements de prises N à exécuter dépend du type de changeur de prises en charge. Pour les changeurs de prises en charge de type sans vide, le nombre N doit correspondre à 50 000 changements de prises. Dans le cas des changeurs de prises en charge de type à vide, le nombre N doit être égal à 1,2 fois le nombre de changements de prises entre les opérations de maintenance selon le manuel du constructeur, mais N ne doit pas être inférieur à 50 000 changements de prises. Ce nombre de manœuvres doit être déclaré par le constructeur de changeurs de prises.

NOTE Les résultats de cet essai peuvent être utilisés par le constructeur pour démontrer que les contacts utilisés pour établir et couper le courant sont capables d'accomplir, sans remplacement, le nombre de changements de prises déclaré par le constructeur au courant traversant assigné maximal et à la tension d'échelon assignée correspondante.

Pour les changeurs de prises en charge de type sans vide, cet essai peut être combiné à l'essai d'étanchéité, voir 5.2.7.2.

5.2.3.2.2 Essai d'endurance à la tension d'échelon assignée

Les contacts des commutateurs et des sélecteurs en charge doivent être soumis à un nombre de manœuvres correspondant à N changements de prises en service normal en étant parcourus par un courant au moins égal au courant traversant assigné maximal et à la tension d'échelon assignée correspondante.

La comparaison des oscillogrammes relevés à intervalles réguliers au cours de l'essai doit montrer que les caractéristiques du changeur de prises en charge ne présentent pas de modifications significatives de nature à compromettre le fonctionnement de l'appareil. Vingt oscillogrammes doivent être relevés au début de l'essai et 20 après chaque tiers successif du nombre de N ($N/4$) manœuvres, soit un total de 100 oscillogrammes.

NOTE En général, il est suffisant de comparer les séries d'oscillogrammes relevés au début et à la fin de l'essai.

5.2.3.2.3 Essai d'endurance à la tension d'échelon réduite (changeurs de prises en charge de type sans vide)

Un essai à une tension d'échelon réduite peut être réalisé dans les conditions suivantes:

- a) 100 manœuvres doivent être exécutées au courant traversant assigné maximal et à la tension d'échelon assignée correspondante avec des contacts neufs et un liquide de transformateur propre. Chaque manœuvre doit être enregistrée sur oscillographe;
- b) lorsque les oscillogrammes enregistrés en a) indiquent qu'aucune durée d'arc ne dépasse $1,2/2f$ s, où f est la fréquence assignée en hertz, alors le nombre de manœuvres de l'essai d'endurance tel que défini en d) doit être de N ;
- c) lorsque les oscillogrammes enregistrés en a) indiquent que des durées d'arc supérieures à $1,2/2f$ s apparaissent, alors le nombre de manœuvres de l'essai d'endurance défini en d) doit être augmenté de $(2S/100) \times N$, où S est le nombre total de demi-cycles de courant d'arc, au cours des 100 manœuvres de a) ci-dessus, qui dépassent $1,2/2f$ s;
- d) un essai d'endurance de N manœuvres, augmenté s'il y a lieu du nombre de manœuvres résultant de c), doit être réalisé avec un courant correspondant au moins au courant traversant assigné maximal et à une tension d'échelon réduite. Cette tension doit être telle que le courant commuté ne soit pas inférieur à celui apparaissant au cours des manœuvres à la tension d'échelon assignée correspondante. De plus, une interruption de courant ne doit pas avoir d'effet significatif sur l'usure des contacts. Pour obtenir les

conditions d'essai spécifiées, la valeur de l'impédance de passage doit être modifiée de manière appropriée;

- e) sans changement des contacts ou du liquide, 100 manœuvres doivent être exécutées au courant traversant assigné maximal et à la tension d'échelon assignée correspondante, chaque manœuvre étant enregistrée sur oscillographe. La comparaison de ces oscillogrammes avec ceux relevés lors des séries de manœuvres en a) ne doit montrer aucune altération des caractéristiques du changeur de prises en charge susceptible de compromettre le fonctionnement de l'appareil.

La suite des essais spécifiée ci-dessus est destinée à donner pratiquement la même usure des contacts que celle qui interviendrait après N manœuvres au courant traversant assigné maximal et à la tension d'échelon assignée correspondante.

5.2.3.2.4 Essai d'endurance à la tension d'échelon réduite (changeurs de prises en charge de type à vide)

Un essai à une tension d'échelon réduite peut être réalisé dans les conditions suivantes:

- a) 1 000 manœuvres doivent être exécutées au courant traversant assigné maximal et à la tension d'échelon assignée correspondante avec des contacts neufs et un liquide de transformateur propre. Chaque manœuvre doit être enregistrée sur oscillographe. Des durées d'arc supérieures à $1,2/2f$ s ne doivent pas se produire;
- b) un essai d'endurance de N manœuvres doit être réalisé avec un courant correspondant au moins au courant traversant assigné maximal et à une tension d'échelon réduite. Cette tension doit être telle que le courant commuté et les durées d'arc ne soient pas inférieurs à ceux qui se produisent pendant les manœuvres. Pour obtenir les conditions d'essai spécifiées, la valeur de l'impédance de passage doit être modifiée de manière appropriée;
- c) sans changement des contacts ou du liquide, 1 000 manœuvres doivent être exécutées au courant traversant assigné maximal et à la tension d'échelon assignée correspondante, chaque manœuvre étant enregistrée sur oscillographe. Des durées d'arc supérieures à $1,2/2f$ s ne doivent pas se produire. La comparaison de ces oscillogrammes avec ceux relevés lors des séries de manœuvres en a) ne doit montrer aucune altération des caractéristiques du changeur de prises en charge susceptible de compromettre le fonctionnement de l'appareil.

La suite des essais spécifiée ci-dessus est destinée à donner pratiquement la même usure des contacts que celle qui interviendrait après N manœuvres au courant traversant assigné maximal et à la tension d'échelon assignée correspondante.

5.2.3.2.5 Essai d'endurance dans un circuit d'essai synthétique (changeurs de prises en charge de type à vide)

5.2.3.2.5.1 Généralités

Il est admis de réaliser l'essai d'endurance dans un circuit d'essai synthétique tant que les exigences suivantes sont satisfaites:

- les charges dissipées dans les arcs doivent être au moins identiques à celles obtenues dans un circuit d'essai en courant alternatif;
- le courant traversant les arcs de coupure doit être accordé de manière à être essentiellement sinusoïdal et la charge doit être au moins égale à celle de la demi-onde sinusoïdale correspondante et il convient que la valeur de crête soit au moins égale à 95 % de celle de la demi-onde sinusoïdale correspondante;
- la polarité du courant de coupure dans les arcs doit être modifiée de manière périodique et correspondre à pratiquement le même nombre de manœuvres avec chaque polarité;
- les durées d'arc de coupure doivent être modifiées essentiellement de la même manière que dans un circuit d'essai en courant alternatif;
- un nombre statistiquement correct de manœuvres doit débiter à une gamme d'intensité de courant égale à la valeur efficace en courant alternatif correspondante multipliée par $\sqrt{2}$;

- les charges dissipées, les oscillogrammes illustrant les profils de courant et les répartitions des durées d'arc doivent être présentés dans le rapport final;
- l'essai peut être réalisé avec ou sans tension de rétablissement, voir les alinéas ci-dessous;
- pour les contacts dont la fermeture se produit avec l'application d'une tension préalablement à leur fermeture, une tension d'établissement doit être appliquée sur les contacts au moment opportun avant la fermeture des contacts afin d'obtenir les conditions de fermeture appropriées;
- au moment de l'amorçage du préarc, le courant obtenu doit correspondre au courant en service réel, tant pour la valeur que pour la dérivée;
- la polarité de la tension d'établissement doit être modifiée de manière périodique et correspondre à pratiquement le même nombre de manœuvres avec chaque polarité;
- la tension d'établissement est à modifier essentiellement de la même manière que dans un circuit d'essai en courant alternatif;
- les oscillogrammes et les données indiquant les conditions d'établissement doivent être présentés dans le rapport final;
- dans le cas de deux jeux de contacts ou plus fonctionnant en séquence, il est admis de soumettre ces contacts à l'essai dans ce circuit séparément les uns après les autres. Toutefois, tous les jeux de contacts sont à exploiter afin d'obtenir les propriétés mécaniques correctes (telles que la vitesse, le rebond, etc.).

5.2.3.2.5.2 Circuit d'essai synthétique sans tension de rétablissement

Après exécution des $1,2 \times N$ manœuvres, et avant réalisation de l'essai de pouvoir de coupure, 1 000 manœuvres à la tension d'échelon maximale dans un circuit d'essai en courant alternatif doivent être effectuées comme indiqué en 5.2.3.2.4. Aucune durée d'arc supérieure à $1,2/2f$ s n'est admise.

5.2.3.2.5.3 Circuit d'essai synthétique avec tension de rétablissement

Il est admis que la tension de rétablissement appliquée après extinction de l'arc soit une tension continue ou une tension alternative.

Dans le cas d'une tension de rétablissement alternative, celle-ci doit être essentiellement sinusoïdale et avoir au moins la même dérivée lors de la montée en tension que la demi-onde sinusoïdale correspondante, et atteindre au moins 95 % de la valeur de crête de la demi-onde sinusoïdale correspondante.

Dans le cas d'une tension de rétablissement continue, la tension ne doit pas être appliquée plus de 0,1 ms après l'extinction de l'arc. Le niveau de la tension continue appliquée doit être identique à la valeur de crête de la tension de rétablissement alternative vraie.

Il convient que la tension de rétablissement ait une polarité opposée à celle de l'arc précédent.

Dans le cas de réamorçages de l'arc supérieurs à $1,2/2f$ s, le principe suivant s'applique:

- la charge dissipée dans l'arc suite au réamorçage doit être au moins égale à celle dissipée dans un circuit d'essai en courant alternatif, ou
- le nombre de ces réamorçages doit être comptabilisé et un nombre de manœuvres supplémentaires égal au double du nombre de durées d'arc supérieures à $1,2/2f$ s doit être exécuté.

Par exemple, voir l'Annexe E.

5.2.3.2.6 Essai d'endurance pour sélecteurs en charge

Les essais peuvent être réalisés comme spécifié de 5.2.3.2.2 à 5.2.3.2.5, selon le paragraphe applicable.

Pour approcher les conditions de service, l'essai des sélecteurs en charge de type sans vide doit être réalisé avec huit changements de prises au maximum, ceux-ci étant disposés de manière centrale sur le présélecteur si un tel dispositif est incorporé au type de changeur de prises (position centrale plus/moins 4 positions, en excluant les positions mortes).

Dans le cas de sélecteurs en charge de type à vide, la coupure se produit dans les interrupteurs à vide et ne dépend pas de la position du changeur de prises. Par conséquent, le calcul approché susmentionné des conditions de service n'est pas exigé.

Lorsque les sélecteurs en charge de type sans vide sont conçus pour la coupure #2 du cycle de fonctionnement, et lorsqu'aucune restriction ne s'applique à la séquence de fonctionnement ou à la direction de la charge, il convient d'appliquer la séquence la plus sévère selon l'Annexe A.

Lorsque les sélecteurs en charge de type sans vide sont conçus pour la coupure #2 du cycle de fonctionnement et lorsque les restrictions d'utilisation sont telles que la séquence de fonctionnement et la direction de la charge aboutissent uniquement à un fonctionnement dans la direction la moins sévère selon l'Annexe A, l'essai doit être réalisé avec $N/2$ manœuvres à pleine charge et $N/2$ manœuvres à vide.

5.2.3.3 Essai de pouvoir de coupure

Quarante manœuvres doivent être exécutées dans les conditions les plus sévères (voir Annexe A et Annexe B) avec un courant correspondant à deux fois le courant traversant assigné maximal et à sa tension d'échelon assignée correspondante.

Pour approcher les conditions de service, l'essai des sélecteurs en charge de type sans vide doit être réalisé avec huit positions de changements de prises au maximum, celles-ci étant disposées de manière centrale sur le présélecteur si un tel dispositif est incorporé au changeur de prises en charge (position centrale plus/moins 4 positions, en excluant les positions mortes).

Dans le cas de sélecteurs en charge de type à vide, la coupure se produit dans les interrupteurs à vide et ne dépend pas de la position du changeur de prises. Par conséquent, le calcul approché susmentionné des conditions de service n'est pas exigé.

Les oscillogrammes relevés pour chaque manœuvre doivent indiquer qu'en aucun cas la durée d'arc n'est de nature à compromettre le fonctionnement de l'appareil.

Pour les changeurs de prises de type à résistance, l'essai de pouvoir de coupure doit être effectué, si possible, avec une résistance de passage de mêmes caractéristiques thermiques et ohmiques que celle utilisée en service. Si c'est impossible, l'impédance telle qu'elle est utilisée en service doit être soumise aux essais de manière séparée conformément au 5.2.5.1, mais avec un courant égal à deux fois le courant traversant assigné maximal pour une seule manœuvre.

Pour les changeurs de prises en charge de type à vide, l'essai de pouvoir de coupure doit être effectué après l'essai d'endurance à l'aide du même échantillon d'essai.

5.2.3.4 Exigences concernant les types spéciaux de changeurs de prises en charge de type à vide

Pour couvrir la diminution de la rigidité diélectrique (uniquement dans les cas où l'interrupteur à vide est la seule distance d'isolement entre la prise sélectionnée et la prise présélectionnée), les essais sont à réaliser dans l'ordre suivant:

- a) essai d'endurance;
- b) essai de pouvoir de coupure;
- c) essai diélectrique entre les contacts des commutateurs dans leur position finale d'ouverture, le choc de foudre d'onde pleine étant égal à 80 % seulement des valeurs assignées (voir 5.2.8.2, e)).

5.2.3.5 Circuits d'essai en courant alternatif équivalents

Les essais de 5.2.3.2.2, 5.2.3.2.3, 5.2.3.2.4 et 5.2.3.3 peuvent être réalisés avec des circuits d'essai équivalents s'il est prouvé que les conditions d'essai sont pratiquement équivalentes. Deux circuits d'essai équivalents qu'il est possible d'utiliser uniquement pour les changeurs de prises de type à résistance sont décrits à l'Annexe D.

5.2.4 Essai au courant de court-circuit

Tous les contacts de différents types parcourus en permanence par le courant doivent être soumis à des courants de court-circuit, chacun d'une durée de 2 s ($\pm 10\%$). Dans le cas de changeurs de prises en charge immergés dans un liquide, l'essai doit être réalisé dans du liquide de transformateur.

Dans le cas de changeurs de prises en charge triphasés, il est normalement suffisant de soumettre aux essais les contacts d'une seule phase, sauf spécification contraire.

Trois applications doivent être réalisées avec un courant de crête initial de 2,5 ($\pm 5\%$) fois la valeur efficace du courant d'essai de court-circuit assigné. Les contacts ne doivent pas être déplacés entre ces applications.

Lorsqu'il n'y a pas d'enclencheur synchrone et qu'il n'est pas possible d'obtenir trois applications de courant de court-circuit avec un courant de crête initial de 2,5 fois la valeur efficace, l'essai suivant peut être réalisé.

La valeur efficace du courant d'essai de court-circuit peut être augmentée de manière à obtenir le courant de crête assigné pour les trois applications et la durée d'essai peut être réduite. Lorsqu'on utilise cette méthode, le produit du carré de la valeur efficace augmentée du courant par la durée réduite de l'essai ne doit pas être inférieur au produit du carré de la valeur efficace du courant de court-circuit assigné par deux secondes.

Les valeurs du courant d'essai de court-circuit à appliquer doivent être celles données à la Figure 1.

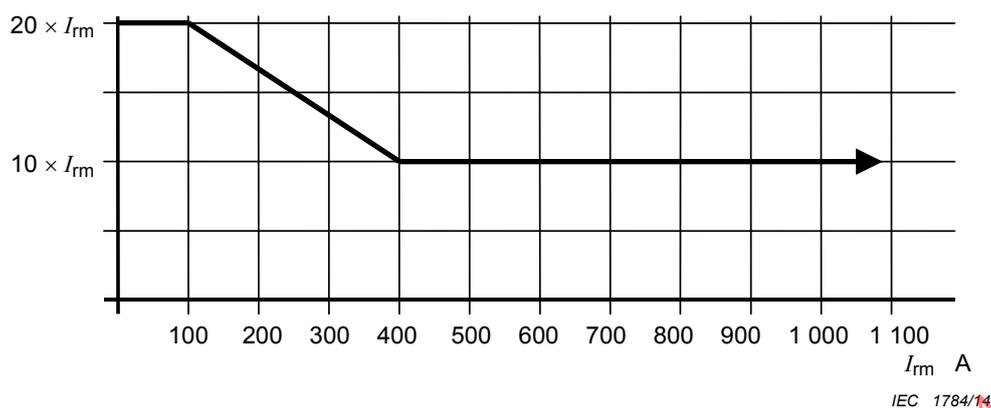


Figure 1 – Courant d'essai de court-circuit (valeur efficace) donné en multiple du courant traversant assigné maximal (changeur de prises en charge)

La tension en circuit ouvert pour l'essai doit être d'au moins 50 V.

A la fin de l'essai, les contacts ne doivent pas être endommagés au point d'empêcher la poursuite du fonctionnement correct au courant traversant assigné maximal. Ceci est à démontrer pour un commutateur ou un sélecteur en charge par une manœuvre à vide, enregistrée sur oscillographe, en coupant les éventuelles soudures réalisées. La comparaison de cet oscillogramme avec ceux obtenus avant l'essai doit montrer que l'appareil est adapté au service. Pour un contact glissant à moteur tel qu'un présélecteur, ou des contacts de présélecteur, le couple de fonctionnement initial doit être mesuré avant et après l'essai, et montrer que l'appareil est adapté au service.

Les autres parties parcourues par le courant ne doivent présenter aucun signe de déformation mécanique permanente, qui peut influencer sur le fonctionnement normal du changeur de prises.

Pour les changeurs de prises de type à bobine d'inductance, le courant de court-circuit est divisé en deux parties égales au niveau des contacts du sélecteur de prises ou du sélecteur en charge et des contacts de transfert ou de shunt. Par conséquent, le courant traversant chaque contact n'est égal qu'à 50 % de la valeur du courant d'essai complet.

Les paramètres d'essai de court-circuit des régulateurs de tension d'échelon décrits dans l'IEC 60076-21 prévalent.

5.2.5 Essai d'impédance de passage

5.2.5.1 Résistances de passage

Pour satisfaire aux exigences de surcharge de 4.3, l'essai doit être réalisé à 1,5 fois le courant traversant assigné maximal à la tension d'échelon assignée correspondante.

La résistance doit être montée dans le changeur de prises en charge comme en service.

La résistance doit être mise sous tension en faisant fonctionner le changeur de prises en charge. Le nombre de manœuvres doit être équivalent à la moitié d'un cycle de fonctionnement. Les manœuvres doivent être ininterrompues, le mécanisme d'entraînement fonctionnant à vitesse normale.

La température de la résistance à la dernière manœuvre doit être enregistrée et déterminée.

L'échauffement au-dessus du liquide environnant à 1,5 fois le courant traversant assigné maximal ne doit pas dépasser 400 K pour les changeurs de prises en charge montés à

l'extérieur (changeurs de prises en charge de type à enceinte) ou 350 K pour les changeurs de prises en charge montés à l'intérieur (changeurs de prises en charge montés dans un réservoir).

Dans le cas de changeurs de prises en charge immergés dans un gaz, les limites admissibles d'échauffement dépendent de la nature de l'isolation gazeuse utilisée et des matériaux qui sont en contact avec la zone entourant les résistances de passage. Les changeurs de prises en charge immergés dans un gaz qui ne sont pas montés à l'intérieur d'un logement étanche au gaz ne doivent pas être utilisés dans des environnements dangereux.

Cependant, la température des résistances et des parties en contact avec elles doit être limitée à une valeur telle que les caractéristiques de l'ensemble ne soient pas affectées.

S'il n'est pas possible de déterminer la température de la résistance de passage avec les éléments indiqués ci-dessus, la méthode donnée à l'Annexe C peut alors être utilisée.

Les résistances de passage doivent également être soumises aux essais avec un courant égal au moins à la valeur maximale du courant qui passerait pendant l'essai de pouvoir de coupure avec deux fois le courant traversant assigné maximal et la tension d'échelon assignée correspondante. Cet essai peut être inclus dans l'essai de pouvoir de coupure (5.2.3.3) ou être réalisé séparément. Cet essai est satisfaisant s'il convient que la valeur des résistances, mesurée avant et après l'essai, se trouve dans la tolérance de $\pm 10\%$ et l'état général des résistances doit être tel que le fonctionnement continu est autorisé.

Dans les cas où le courant traversant assigné ou la tension d'échelon assignée correspondante diffère du courant traversant assigné maximal et de la tension d'échelon assignée correspondante, il est admis de calculer les caractéristiques assignées thermiques de la résistance à partir des résultats de l'essai de type.

5.2.5.2 Bobines d'inductance de passage

Les bobines d'inductance de passage sont normalement soumises aux essais conformément à la spécification du transformateur avec lequel le changeur de prises en charge est destiné à être utilisé.

Il convient de prendre des précautions lors de la conception des bobines d'inductance de passage pour éviter des appels de courant élevés au moment de la commutation.

5.2.6 Essais mécaniques

5.2.6.1 Simulation de la procédure de séchage du transformateur

Afin de simuler un processus de séchage du transformateur, le changeur de prises en charge doit subir une procédure de séchage au cours de l'essai de type préalablement aux essais énumérés de 5.2.6.2 à 5.2.6.5. La procédure de séchage et le type de séchage doivent être déclarés par le constructeur de l'OLTC.

Par exemple, les températures maximales, le taux maximal de montée en température, la séquence et le niveau de vide doivent tenir compte des méthodes de séchage classiques. Les limites portant sur les variables quelles qu'elles soient doivent être déclarées par le constructeur de l'OLTC afin d'éviter les contraintes supérieures aux caractéristiques de conception de l'OLTC et qui peuvent entraîner une déformation anormale.

5.2.6.2 Essai d'endurance mécanique

Si le changeur de prises en charge est de type immergé dans un liquide, il doit être assemblé et rempli de liquide propre ou immergé dans un réservoir d'essai rempli de liquide propre et manœuvré comme dans les conditions normales de service. Les contacts ne doivent pas être alimentés et la totalité de l'étendue de réglage des prises doit être utilisée jusqu'à ce

que 500 000 changements de prises au moins aient été réalisés. Au moins 50 000 changements de prises doivent être réalisés sur le présélecteur.

Si le nombre de manœuvres exécutées lors de l'essai d'endurance est supérieur ou égal aux 500 000 manœuvres demandées lors de l'essai d'endurance mécanique, il est admis d'utiliser ces manœuvres afin de vérifier les 500 000 manœuvres demandées, sous réserve que toutes les conditions d'essai soient appropriées.

Pour les changeurs de prises en charge de type à enceinte, cet essai peut être réalisé à température ambiante. Pour les changeurs de prises en charge montés dans un réservoir, la moitié des manœuvres doit être réalisée à une température supérieure ou égale à 75 °C et la moitié à une température inférieure, par exemple, pendant les périodes d'échauffement ou de refroidissement, des cycles quotidiens de température étant admis.

Dix oscillogrammes temporels pour le commutateur et le sélecteur de prises, voire le sélecteur en charge, et s'il y a lieu pour le présélecteur, doivent être relevés au début et à la fin de l'essai d'endurance mécanique. La comparaison de ces oscillogrammes temporels ne doit pas montrer de différence significative.

Pour les changeurs de prises montés dans un réservoir et immergés dans un liquide, 100 manœuvres doivent être exécutées avec le commutateur à 115 °C et avec le sélecteur de prises à 105 °C ou avec le sélecteur en charge à 115 °C afin de démontrer la capacité de résister aux températures d'huile minérale isolante lors d'un chargement d'urgence comme indiqué au 4.3. Il existe des modèles de sélecteurs en charge où le présélecteur est monté au-dessous de l'enceinte du sélecteur en charge. Dans de tels cas, il est admis d'effectuer les essais sur le présélecteur à 105 °C. Le fonctionnement du commutateur ou du sélecteur en charge doit être enregistré sur oscillographe. La comparaison de ces oscillogrammes avec ceux obtenus au début et à la fin de l'essai d'endurance mécanique doit montrer que l'appareil est adapté au service.

Pour les changeurs de prises en charge montés dans un réservoir et de type à enceinte, 100 manœuvres doivent être réalisées à une température de -25 °C avec le commutateur uniquement ou avec un sélecteur en charge et leurs manœuvres doivent être enregistrées sur oscillographe. La comparaison de ces oscillogrammes avec ceux obtenus conformément à l'alinéa précédent doit montrer que l'appareil est adapté au service. La viscosité à une température de -25 °C du liquide utilisé dans cet essai doit être indiquée.

Du fait de la viscosité plus élevée des autres liquides actuellement disponibles (tels que les fluides d'ester (naturels ou de synthèse) ou les fluides de silicium), l'essai à une température de -25 °C n'est pas applicable pour ces liquides. Le constructeur du changeur de prises est à consulter pour la température minimale admissible.

Au cours de cet essai, il ne doit pas y avoir de défaillance ou d'usure anormale des contacts ou des parties mécaniques qui pourrait conduire à une défaillance mécanique si les manœuvres continuaient.

La maintenance normale conformément au manuel du constructeur est autorisée durant l'essai.

Il est admis de réaliser cet essai d'endurance mécanique séparément sur les commutateurs, les sélecteurs en charge, les sélecteurs de prises ou d'autres composants sur le changeur de prises en charge, à condition que dans chaque cas, la manœuvre reproduit mécaniquement les conditions de service normal.

NOTE Les milieux ambiants déclarés adaptés pour le fonctionnement peuvent être généralement de l'huile minérale isolante, d'autres liquides (tels que les fluides d'ester (naturels ou de synthèse) ou les fluides de silicium), l'air et d'autres gaz.

5.2.6.3 Essai de succession des opérations

Un cycle complet de fonctionnement doit être effectué avec le changeur de prises en charge assemblé comme en service et, s'il est du type immergé dans un liquide, dans un liquide de transformateur propre. Les temps successifs exacts des opérations de fonctionnement du sélecteur de prises, du présélecteur, du commutateur ou du sélecteur en charge, suivant le cas doivent être enregistrés avec les contacts alimentés à la tension du dispositif d'enregistrement.

5.2.6.4 Fonctionnement sous une pression statique maximale admissible

5.2.6.4.1 Généralités

Pour les changeurs de prises en charge de type à enceinte et de type monté dans un réservoir et de type à vide uniquement, 100 manœuvres doivent être exécutées à la température ambiante aux pressions maximale et minimale admises indiquées par le constructeur. Ces essais peuvent être réalisés sur le seul commutateur ou sur le sélecteur en charge, et le fonctionnement du commutateur ou du sélecteur en charge doit être enregistré sur oscillographe. La comparaison de ces oscillogrammes avec ceux obtenus à la pression atmosphérique normale à température ambiante doit montrer que l'appareil est adapté au service.

5.2.6.4.2 Changeurs de prises immergés dans un liquide

Cet essai est à effectuer à une température du liquide environnant inférieure ou égale à 40 °C. En l'absence de différences significatives entre les durées de coupure obtenues sans pression statique supplémentaire et pression statique maximale, l'essai est valable pour toute la plage de températures.

Le constructeur doit déclarer ses valeurs.

5.2.6.4.3 Changeurs de prises immergés dans un gaz

Cet essai est à effectuer à une température du gaz environnant égale à 80 °C. En l'absence de différences significatives entre les durées de coupure obtenues sans pression statique supplémentaire et pression statique maximale, l'essai est valable pour toute la plage de températures.

Le constructeur doit déclarer ses valeurs.

5.2.6.5 Essais sous pression et sous vide

Des essais appropriés doivent être réalisés sur l'enceinte et les traversées du changeur de prises en charge pour démontrer les valeurs de tenue à la pression et au vide, ainsi que le fonctionnement correct continu du changeur de prises. Le constructeur doit déclarer ses valeurs de pression et de vide.

L'essai de pression externe, en plus de l'essai de pression interne, doit être réalisé sur le changeur de prises immergé dans un gaz. Cette pression externe doit être supérieure d'au moins 125 kPa à la pression estimée à la température maximale dans le réservoir ou le conteneur principal du transformateur.

5.2.7 Essai d'étanchéité

5.2.7.1 Généralités

Des essais appropriés doivent être réalisés sur les enceintes et les traversées du changeur de prises en charge pour démontrer l'étanchéité. Le constructeur doit déclarer ses valeurs.

5.2.7.2 Essai d'étanchéité au cours de l'essai d'endurance

L'étanchéité de l'enceinte du commutateur ou du sélecteur en charge doit être vérifiée par un essai. Cet essai peut être réalisé en même temps que l'essai d'endurance ou séparément, comme indiqué au 5.2.7.3.

L'étanchéité de l'enceinte du commutateur immergée dans un liquide doit être vérifiée au moyen d'une analyse des gaz dissous et des gaz libres (AGD).

L'enceinte du commutateur ou du sélecteur en charge doit être fixée sur un conteneur fermé, comme cela est le cas sur le transformateur. Le volume du conteneur ne doit pas dépasser 10 fois celui de l'enceinte du commutateur.

L'huile minérale isolante à l'intérieur de l'enceinte du commutateur ou du sélecteur en charge doit avoir une pression d'au moins 20 kPa au-dessus de la pression du conteneur.

Des échantillons d'huile minérale isolante doivent être prélevés dans le conteneur au début et à la fin de l'essai. Les résultats de l'analyse des gaz dissous dans l'huile ne doivent pas montrer d'augmentation supérieure à 10 ppm (en volume) des gaz généralement produits au cours des manœuvres de changeurs de prises en charge, principalement l'hydrogène (H₂), le méthane (CH₄), l'éthylène (C₂H₄), l'acétylène (C₂H₂) et l'éthane (C₂H₆).

Il convient de dégazer l'huile minérale isolante dans le conteneur fermé avant de commencer l'essai.

Les commutateurs et les sélecteurs de charge qui utilisent des interrupteurs à vide ou d'autres dispositifs pour empêcher que des arcs ne se produisent dans le liquide isolant, ne sont pas tenus de subir l'essai d'étanchéité ci-dessus à condition que le constructeur puisse démontrer qu'il ne se produit pas d'arc à l'intérieur de l'enceinte du commutateur/sélecteur en charge.

5.2.7.3 Essai d'étanchéité séparé

L'enceinte du commutateur ou du sélecteur en charge peut être soumise à l'essai séparément en variante à l'essai décrit au 5.2.7.2.

L'étanchéité de l'enceinte du commutateur immergée dans un liquide doit être vérifiée au moyen d'une analyse des gaz dissous et des gaz libres (AGD).

L'enceinte du commutateur ou du sélecteur en charge doit être fixée sur un conteneur fermé, comme cela est le cas sur le transformateur. Le volume du conteneur ne doit pas dépasser 10 fois celui de l'enceinte du commutateur.

L'huile minérale isolante à l'intérieur de l'enceinte du commutateur ou du sélecteur en charge doit:

- avoir une pression supérieure d'au moins 20 kPa à celle du conteneur;
- être dopée à l'acétylène (C₂H₂) à un niveau d'au moins 100 000 ppm (en volume).

Le changeur de prises en charge doit réaliser 50 000 manœuvres avec le commutateur ou le sélecteur en charge assemblé mais avec les contacts non alimentés. La durée de l'essai doit être d'au moins 2 semaines.

Des échantillons d'huile minérale isolante doivent être prélevés dans le conteneur au début et à la fin de l'essai. Les résultats de l'analyse des gaz dissous et des gaz libres (AGD) ne doivent pas montrer une augmentation supérieure à 10 ppm de l'acétylène (C₂H₂).

Il convient de dégazer l'huile minérale isolante dans le conteneur fermé avant de commencer l'essai.

Les commutateurs et les sélecteurs de charge qui utilisent des interrupteurs à vide ou d'autres dispositifs pour empêcher que des arcs ne se produisent dans le liquide isolant, ne sont pas tenus de subir l'essai d'étanchéité ci-dessus à condition que le constructeur puisse démontrer qu'il ne se produit pas d'arc à l'intérieur de l'enceinte du commutateur/sélecteur en charge.

5.2.7.4 Essai d'étanchéité pour les changeurs de prises en charge immergés dans un gaz

La coupure des interrupteurs à vide peut être compromise par l'augmentation de la pression externe aux interrupteurs. Par conséquent, l'essai d'étanchéité doit montrer l'absence de pénétration de gaz entre le réservoir principal du transformateur et l'enceinte du commutateur. Ceci doit être vérifié avec un essai de pression externe au début et à la fin de l'essai de type. L'essai de pression externe doit être réalisé à une pression externe supérieure d'au moins 125 kPa à la pression estimée à une température de 20 °C dans le réservoir ou le conteneur principal du transformateur. De plus, il doit être vérifié que le volume de gaz pénétrant n'influe pas sur la coupure à long terme.

5.2.8 Essais diélectriques

5.2.8.1 Généralités

Les exigences diélectriques pour un changeur de prises en charge dépendent de l'enroulement du transformateur auquel il est à relier.

Le constructeur du transformateur doit être responsable non seulement du choix d'un changeur de prises en charge du niveau d'isolement approprié, mais également du niveau d'isolement des connexions entre le changeur de prises en charge et les enroulements du transformateur.

Les changeurs de prises en charge de type immergé dans un liquide doivent être remplis avec un liquide de transformateur propre ou être immergés dans un réservoir d'essai rempli de liquide de transformateur propre avant de réaliser les essais indiqués en 5.2.8.2.

Tableau 3 – Niveaux de tension d'essai pour les changeurs de prises en charge

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV	Choc de foudre d'onde pleine kV	Choc de foudre coupé kV	Choc de manœuvre kV	Tension appliquée kV
< 1,1	-	-	-	3
3,6	40	44	-	10
7,2	75*	83*	-	20
12	110*	121*	-	34*
17,5	125*	138*	-	38
24	150*	165*	-	50
36	200*	220*	-	70
52	250	275	-	95
72.5	350*	385*	-	140
100	450	495	375*	185
123	550	605	460*	230
145	650	715	540*	275

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV	Choc de foudre d'onde pleine kV	Choc de foudre coupé kV	Choc de manœuvre kV	Tension appliquée kV
170	750	825	620*	325
245	1 050	1 155	850*	460
300	1 050	1 155	850	460
362	1 175	1 290	950	510
420	1 425	1 570	1 175*	630
550	1 675*	1 845*	1 390*	680
800	2 100	2 310	1 675*	-
1 100	2 250	2 475	1 800	-
1 200	2 250	2 475	1 800	-

NOTE Les valeurs comportant un astérisque (*) ne sont pas données dans l'IEC 60076-1:2011 pour la valeur particulière de U_m , mais sont incluses soit parce qu'elles représentent la pratique courante dans certaines régions du monde, soit, pour certains niveaux de chocs de manœuvre, parce qu'elles représentent une valeur coordonnée pour une valeur particulière du niveau de choc de foudre (voir IEC 60076-3:—).

5.2.8.2 Nature des essais

Le niveau d'isolement du changeur de prises en charge doit être démontré par des essais diélectriques réalisés sur les distances suivantes:

- à la terre;
- entre phases (le cas échéant);
- entre les premier et dernier contacts du sélecteur de prises ou du sélecteur en charge et, s'il existe, du présélecteur;

NOTE Dans le cas de modèles de changeurs de prises où les contacts fixes sont droits, cet essai n'est pas applicable.

- entre deux contacts adjacents quelconques du sélecteur de prises ou du sélecteur en charge ou tout autre contact suivant la disposition des contacts du changeur de prises en charge;
- entre les contacts du commutateur dans leur position finale d'ouverture.

Dans le cas de changeurs de prises de type à vide, où les interrupteurs à vide sont ouverts dans leur position finale d'ouverture et où ils représentent la seule distance d'isolement entre la prise sélectionnée et la prise présélectionnée, le point e) des essais diélectriques susmentionnés est à répéter après l'essai d'endurance, le choc de foudre d'onde pleine étant uniquement à 80 % des valeurs assignées (voir 5.2.3.4).

5.2.8.3 Tensions d'essai

– Classe I

Pour l'essai a), les tensions d'essai doivent être conformes aux valeurs appropriées données dans le Tableau 3. Pour les essais b), c), d) et e), les valeurs de tenue appropriées des tensions de choc de foudre d'onde pleine et coupé, de la tension appliquée et, s'il y a lieu, du choc de manœuvre, doivent être déclarées par le constructeur du changeur de prises en charge.

– Classe II

Pour les essais a) et b), la tension d'essai doit être conforme aux valeurs appropriées données dans le Tableau 3. Pour les essais c), d) et e), les valeurs de tenue appropriées du choc de foudre d'onde pleine et coupé, de la tension appliquée et, s'il y a lieu, du choc de manœuvre, doivent être déclarées par le constructeur du changeur de prises en charge.

Les valeurs du Tableau 3 représentent les tensions d'essai sélectionnées les plus élevées pour U_m et sont basées sur l'Article 7 de l'IEC 60076:2013. Il convient d'utiliser le Tableau 3 pour sélectionner les niveaux d'essai applicables de 5.2.8.5 à 5.2.8.9.

5.2.8.4 Application des tensions d'essai

Pour les essais diélectriques, le changeur de prises en charge doit être assemblé, disposé et séché d'une manière analogue à celle utilisée en service. Toutefois, il n'est pas nécessaire d'inclure les connexions pour relier le changeur de prises en charge aux enroulements du transformateur. Lorsque des connexions sont utilisées, il convient qu'elles soient proches de celles employées en service. Les essais peuvent être réalisés sur des composants séparés à condition qu'il puisse être démontré que les mêmes conditions diélectriques s'appliquent.

Pour l'essai a) de 5.2.8.2 effectué sur les changeurs de prises en charge de classe I et de classe II et l'essai b) de 5.2.8.2 effectué sur les changeurs de prises en charge de classe II, les parties sous tension de chaque phase doivent être court-circuitées et reliées soit à la source de tension soit à la terre selon le cas.

Lorsque le changeur de prises en charge comporte un isolement à l'air extérieur par rapport à la terre, celui-ci doit être contrôlé conformément aux essais applicables décrits dans l'IEC 60137.

La succession préférentielle d'essais est la suivante:

- essai de choc de foudre d'onde pleine;
- essai de choc de foudre coupé;
- essai de choc de manœuvre, s'il y a lieu;
- essai de tension appliquée;
- mesurage des décharges partielles, lorsque cela est exigé.

5.2.8.5 Essai de choc de foudre d'onde pleine (LI)

Le choc d'essai doit être un choc de foudre complet normal ($1,2 \mu\text{s} \pm 30\%$ / $50 \mu\text{s} \pm 20\%$) avec un dépassement maximal de 5 %. La tolérance concernant la valeur de tension d'essai est de $\pm 3\%$. Chaque essai doit comporter trois applications de tension de polarité positive et trois applications de tension de polarité négative, à la valeur exigée.

5.2.8.6 Essai de choc de foudre coupé (LIC)

La forme d'onde des chocs d'onde pleine doit être telle que donnée en 5.2.8.5. Le découpage temporel du choc de foudre coupé doit être compris entre $3 \mu\text{s}$ et $6 \mu\text{s}$. La durée jusqu'à la première valeur de tension nulle après le découpage effectif doit être la plus courte possible. Chaque essai doit comporter trois applications de tension de polarité positive et trois applications de tension de polarité négative, à la valeur exigée.

NOTE En variante, cette exigence peut être satisfaite par la réalisation d'un essai de choc de foudre d'onde pleine avec les valeurs d'essai de l'essai de choc de foudre coupé.

5.2.8.7 Essai de choc de manœuvre (SI)

Cet essai est applicable aux changeurs de prises en charge dont U_m est supérieure ou égale à 100 kV. L'essai doit être réalisé entre les parties actives et les parties à la terre du changeur de prises en charge. La configuration d'essai doit être établie par le constructeur du changeur de prises en charge. La forme de l'onde de choc doit être de 250/2 500 comme spécifié dans l'IEC 60060-1. Chaque essai doit comporter trois applications de tension de polarité positive et trois applications de tension de polarité négative, à la valeur exigée.

5.2.8.8 Essai de tension appliquée (AV)

Cet essai doit être réalisé avec une tension alternative monophasée conformément à l'IEC 60060-1, à la valeur exigée. La durée de chaque application d'essai doit être de 60 s.

5.2.8.9 Mesurage des décharges partielles

Cet essai n'est pas exigé pour les changeurs de prises de classe I.

Pour les changeurs de prises en charge de classe II, un essai doit aussi être réalisé entre les parties actives et les parties à la terre du changeur de prises.

Pour les changeurs de prises en charge de classe II qui combinent deux phases ou plus dans une unité (voir par exemple l'IEC 60214-2), un essai doit être réalisé entre les phases adjacentes dans le changeur de prises. La suite des essais décrite ci-dessous peut être utilisée également pour le mesurage des décharges partielles entre les phases, toutefois, la valeur de référence $U_m / \sqrt{3}$ doit être remplacée par la valeur U_m .

La configuration d'essai doit être établie par le constructeur du changeur de prises en charge. La sélection des bornes auxquelles les fils des prises sont connectés est autorisée.

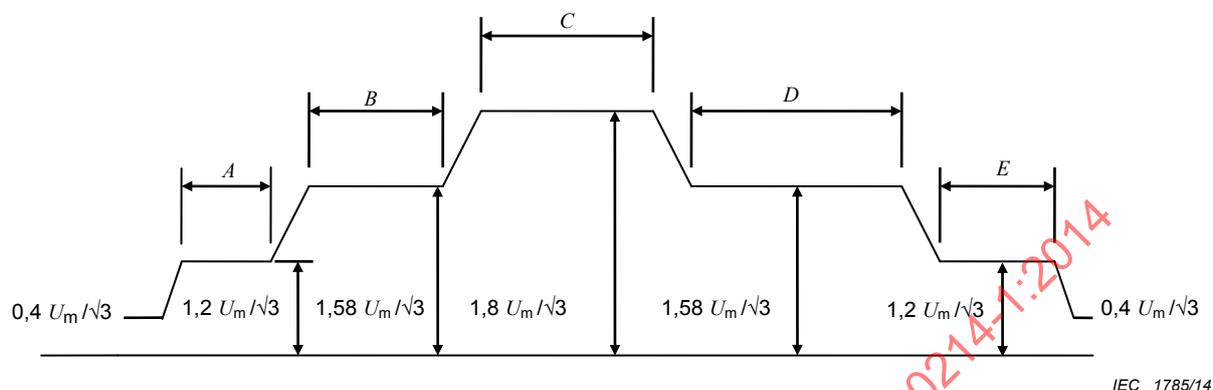
Cet essai doit être réalisé avec une tension alternative monophasée conformément à l'IEC 60060-1.

La suite des essais doit être la suivante:

- la tension doit être activée à un niveau maximal de $0,4 U_m / \sqrt{3}$;
- le mesurage des décharges partielles de fond doit être effectué et consigné;
- la tension doit être augmentée à $1,2 U_m / \sqrt{3}$ et maintenue à cette valeur pendant 1 min au minimum;
- le niveau des décharges partielles doit être mesuré et consigné;
- la tension doit être augmentée à $1,58 U_m / \sqrt{3}$ et maintenue à cette valeur pendant 5 min au minimum;
- le niveau des décharges partielles doit être mesuré et consigné;
- la tension doit être augmentée à la tension d'amélioration de $1,8 U_m / \sqrt{3}$ et maintenue à cette valeur pendant 60 s dans le cas où $U_m \leq 800$ kV et pendant 300 s dans le cas où $U_m > 800$ kV;
- immédiatement après la durée d'essai, la tension doit être réduite sans interruption à $1,58 U_m / \sqrt{3}$;
- le niveau des décharges partielles doit être mesuré et consigné;
- la tension doit être maintenue à $1,58 U_m / \sqrt{3}$ pendant au moins 60 min;
- le niveau des décharges partielles doit être mesuré et consigné toutes les 5 min pendant la période de 60 min;
- après le dernier mesurage des décharges partielles au cours de la période de 60 min, la tension doit être réduite à $1,2 U_m / \sqrt{3}$ et maintenue à ce niveau pendant 1 min au minimum;
- le niveau des décharges partielles doit être mesuré et consigné;
- la tension doit être réduite à $0,4 U_m / \sqrt{3}$;
- le mesurage des décharges partielles de fond doit être effectué et consigné;
- la tension doit être réduite à une valeur inférieure à $0,4 U_m / \sqrt{3}$;
- la tension doit être désactivée.

Le niveau de décharges partielles doit être observé de manière continue sur au moins une voie de mesure pendant toute la durée de l'essai.

La durée de l'essai doit être telle que représentée à la Figure 2.



Légende

A = 1 min

B = 5 min

C = 60 s dans le cas où $U_m \leq 800$ kV et 300 s dans le cas où $U_m > 800$ kV

D = 60 min

E = 1 min

Figure 2 – Séquence d'application de la tension d'essai (changeur de prises en charge)

Les décharges partielles doivent être mesurées par une méthode conforme à l'IEC 60270.

Chaque voie de mesure des décharges partielles, y compris le condensateur de couplage associé, doit être étalonnée en termes de charge apparente (pC) conformément à la méthode donnée dans l'IEC 60270.

Le mesurage des décharges partielles doit être donné en charge apparente (pC) et doit faire référence aux chocs répétitifs de régime permanent les plus importants indiqués par l'instrument de mesure.

Les pointes occasionnelles de niveau de décharges partielles élevé peuvent ne pas être prises en compte.

L'essai peut être considéré valable uniquement lorsque le niveau des décharges partielles de fond mesuré ne dépasse pas 10 pC tant au début qu'à la fin de l'essai.

L'essai est satisfaisant lorsque tous les critères suivants sont remplis:

- a) il n'y a pas d'effondrement de la tension d'essai;
- b) le niveau permanent des décharges partielles ne dépasse pas 50 pC au cours de la période de 60 min (durée D);
- c) le comportement aux décharges partielles ne présente pas de tendance d'augmentation continue et aucune augmentation soutenue subite des niveaux ne se produit au cours des 20 dernières minutes de la période de 60 min (durée D);

- d) le niveau des décharges partielles à une tension de $1,2 U_m / \sqrt{3}$ après la période de 60 min ne dépasse pas 30 pC.

Lorsque le critère c) n'est pas rempli, la période de 60 min peut être prolongée et ce critère est considéré rempli s'il est satisfait pendant une période continue de 60 min.

NOTE La procédure d'essai ci-dessus est équivalente à l'essai de décharges partielles spécifié au 11.3 de l'IEC 60076-3:2013.

5.2.9 Certificat d'essai de type

Le certificat doit comprendre:

- tous les détails des dispositifs d'essai adoptés (par exemple, assemblage, disposition et séchage) avec des croquis explicatifs si nécessaire;
- tous les détails de tous les essais appliqués conformément aux spécifications de 5.2.2 à 5.2.8;
- tous les détails des dispositifs de limitation des surtensions transitoires, le cas échéant, voir 5.1.5;
- les photographies de tous les contacts de coupure et de commutation des courants.

L'usure des contacts dans les interrupteurs à vide et les autres contacts de coupure du courant éventuels doit être présentée et ne doit pas dépasser les limites conformes aux spécifications du constructeur. Aucun signe de présence d'arcs sur les contacts non destinés à subir des arcs n'est admis.

5.3 Essais individuels de série

5.3.1 Généralités

Les essais individuels de série suivants doivent être réalisés sur chaque changeur de prises en charge assemblé:

- essai mécanique (5.3.2);
- essai de succession des opérations (5.3.3);
- essai diélectrique des circuits auxiliaires (5.3.4);
- essais sous pression et sous vide (5.3.5).

NOTE L'attention est attirée sur les essais à effectuer sur les changeurs de prises en charge après montage sur le transformateur et qui sont détaillés au 11.7 de l'IEC 60076-1:2011.

5.3.2 Essai mécanique

Le changeur de prises en charge étant complètement assemblé, mais les contacts n'étant pas alimentés, dix cycles complets de fonctionnement doivent être effectués sans défaillance.

5.3.3 Essai de succession des opérations

Au cours de l'essai mécanique individuel de série de 5.3.2, on doit enregistrer une succession des manœuvres du changeur de prises en charge, cet enregistrement étant fait sous forme d'oscillogrammes pour le commutateur ou le sélecteur en charge. Les résultats de cet enregistrement doivent être pratiquement comparables à ceux obtenus pour l'essai de succession des opérations en 5.2.6.3.

5.3.4 Essai diélectrique des circuits auxiliaires

Les circuits auxiliaires du changeur de prises doivent supporter sans défaillance un essai de tension de tenue en courant alternatif de source séparée de 2 kV appliquée pendant 1 min entre les bornes sous tension et le châssis.

5.3.5 Essais sous pression et sous vide

Toutes les enceintes contenant du liquide ou du gaz doivent être soumises aux essais sous pression et sous vide aux valeurs déclarées par le constructeur.

6 Exigences pour les mécanismes d'entraînement à moteur des changeurs de prises en charge

6.1 Exigences générales

6.1.1 Conformité des composants

Sauf spécification contraire, les composants des mécanismes d'entraînement à moteur doivent être conformes à la norme IEC correspondante.

6.1.2 Variation admissible de l'alimentation des auxiliaires

Le moteur d'entraînement et le dispositif de commande électrique du mécanisme d'entraînement à moteur doivent être conçus pour fonctionner de manière satisfaisante dans les limites de 85 % à 110 % de la tension d'alimentation assignée (tension alternative et tension continue), la fréquence, dans le cas de la tension alternative, étant la fréquence d'alimentation assignée.

Les valeurs normales de la fréquence d'alimentation en tension alternative assignée sont de 50 Hz et 60 Hz.

6.1.3 Contrôle pas à pas

Le circuit pas-à-pas doit être conçu de manière à faire fonctionner le changeur de prises en charge de manière à ne permettre qu'un seul changement de tension dans le cas de signaux pouvant être maintenus ou immédiatement répétés ou encore simultanés provenant de différentes sources au cours d'une opération de changement de prise. Cette exigence s'applique également dans le cas de défauts à la terre ou d'interruption d'un fil de commande.

6.1.4 Indicateur de position de changeur de prises

Une indication claire et fiable de la position du changeur de prises en charge doit être fournie. Il doit être possible de vérifier aisément l'état de la position du changeur de prises de l'indicateur de position lors d'un fonctionnement local.

S'il y a lieu, un émetteur de position à distance peut être fourni pour indiquer la position du changeur de prises à un emplacement à distance.

6.1.5 Indication du changement de prise en cours

S'il y a lieu, un dispositif adapté peut être installé pour indiquer à distance que le mécanisme d'entraînement à moteur est en train d'effectuer un changement de prise.

6.1.6 Dispositifs de fin de course

Le dispositif de fin de course doit empêcher le dépassement des positions extrêmes de la plage de fonctionnement admissible du changeur de prises en charge.

Le mécanisme d'entraînement à moteur doit être équipé d'un dispositif de fin de course qui empêche tout effet de chocs de commande au-delà de la position extrême et qui arrête l'entraînement dans le cas d'une amorce de changement de prise au-delà de la position extrême respectivement.

De plus, un dispositif de fin de course mécanique doit être incorporé soit dans le changeur de prises en charge, soit dans le mécanisme d'entraînement à moteur. L'atteinte de la fin de course mécanique ne doit provoquer aucun dommage.

6.1.7 Dispositifs de commande de marche en parallèle

La fourniture des dispositifs nécessaires doit faire l'objet d'un accord, l'acheteur étant tenu de s'assurer que les exigences correctes sont spécifiées

6.1.8 Protection du sens de rotation

S'il y a lieu, un dispositif pour la prévention de toute rotation incorrecte des moteurs triphasés peut être installé après accord entre le constructeur et l'acheteur.

6.1.9 Dispositif de blocage en présence de surintensité

Si les conditions de fonctionnement du transformateur l'exigent, un dispositif de blocage en présence de surintensité peut être installé après accord entre le constructeur et l'acheteur.

6.1.10 Dispositif de redémarrage

S'il y a lieu, un dispositif peut être installé qui complètera, après une éventuelle interruption de la tension d'alimentation, un changement de prise déjà amorcé.

6.1.11 Compteur de manœuvres

Les compteurs de manœuvres doivent être adaptés à leur service prévu en termes de conditions environnementales et au nombre de manœuvres spécifié pour le changeur de prises en charge. Le nombre de manœuvres du changeur de prises en charge peut être fourni sous forme d'information d'ordre électrique (archivée dans une mémoire) ou avec un compteur à six chiffres ou plus non réinitialisable.

S'il y a lieu, un dispositif indiquant le nombre de manœuvres doit être prévu (dans le cas d'une information d'ordre électrique).

6.1.12 Fonctionnement manuel du mécanisme d'entraînement à moteur

Un dispositif doit être prévu qui, en cas de panne d'alimentation du mécanisme d'entraînement à moteur, facilite une opération de changement du changeur de prises en charge. Le dispositif doit assurer un blocage du mécanisme d'entraînement à moteur afin d'éviter tout fonctionnement intempestif (par exemple, commande à distance, rétablissement de la tension, etc.).

Le sens de rotation et d'autres instructions doivent être indiqués de manière adjacente au point d'engagement.

Il convient que la conception du dispositif permette à une personne de le faire fonctionner sans effort anormal.

NOTE Le présent paragraphe ne s'applique pas aux régulateurs de tension d'échelon tels que définis dans l'IEC 60076-21.

6.1.13 Armoire du mécanisme d'entraînement à moteur

L'armoire du mécanisme d'entraînement à moteur doit satisfaire aux exigences de protection IP44 selon l'IEC 60529 et doit être protégée contre la condensation par des moyens appropriés.

S'il y a lieu, des degrés de protection plus élevés selon l'IEC 60529 peuvent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'acheteur.

6.1.14 Dispositif de protection contre le passage de plusieurs positions

Un dispositif doit être fourni pour empêcher le mécanisme d'entraînement à moteur d'aller trop loin en cas de défaillance du circuit de commande pas à pas.

6.1.15 Protection contre l'accès aux parties dangereuses

Les armoires de mécanismes d'entraînement équipées de portes doivent continuer à assurer au moins une protection de catégorie IP1X (selon l'IEC 60529) avec une porte ouverte.

NOTE Ceci assure une protection contre un contact accidentel du «dos de la main» au minimum.

Les arbres d'entraînement extérieurs doivent être protégés par des dispositifs de protection.

6.2 Essais de type

6.2.1 Essai de tenue mécanique

L'arbre de sortie du mécanisme d'entraînement à moteur doit être soumis à la charge du couple le plus élevé pour le changeur de prises en charge pour lequel il est conçu ou à un cycle de charge simulé équivalent, déterminé à partir des conditions de service. A une telle charge, 500 000 manœuvres doivent être effectuées sur toute la gamme de prises.

Un refroidissement complémentaire de l'entraînement à moteur est autorisé au cours de cet essai.

Au cours de cet essai, réalisé à la fréquence assignée:

- 10 000 manœuvres doivent être effectuées à la tension minimale comme spécifié au 6.1.2;
- 10 000 manœuvres doivent être effectuées à la tension maximale comme spécifié au 6.1.2;
- 100 manœuvres doivent être effectuées à une température de -25 °C . La température à l'intérieur de l'armoire de l'entraînement à moteur au moment où l'essai commence ne doit pas être supérieure à -25 °C . Le mécanisme d'entraînement à moteur doit être soumis à l'essai à la tension et à la fréquence assignées. La température à l'intérieur de l'armoire doit être mesurée pendant l'essai et indiquée dans le rapport d'essai.

Le fonctionnement correct de ces dispositifs couverts par 6.1.6, 6.1.10, 6.1.11, 6.1.12 et 6.1.14 doit être vérifié au cours de cet essai. L'essai doit être terminé sans défaillance et sans usure anormale des parties mécaniques.

La maintenance normale conformément au manuel du constructeur est autorisée durant l'essai.

Au cours de cet essai, le système de chauffage du mécanisme d'entraînement à moteur doit être coupé.

6.2.2 Essai de dépassement des positions extrêmes

Il doit être démontré qu'en cas de défaillance du dispositif de fin de course du mécanisme d'entraînement à moteur, le dispositif de fin de course mécanique supplémentaire du mécanisme d'entraînement à moteur ou le changeur de prises en charge empêche tout fonctionnement au-delà des positions extrêmes lors d'une opération de changement motorisée. Aucun dommage électrique ou mécanique ne doit se produire.

6.2.3 Degré de protection de l'armoire de l'entraînement à moteur

Le cas échéant, l'armoire de l'entraînement à moteur doit être soumise aux essais conformément à l'IEC 60529.

6.3 Essais individuels de série

6.3.1 Essais mécaniques

Le mécanisme d'entraînement à moteur en condition de service ou avec une charge équivalente simulée doit être manœuvré par commande électrique sur dix cycles sans défaillance. Au cours de cet essai, le fonctionnement correct conformément à toute exigence de 6.1.6, 6.1.10, 6.1.11, 6.1.12 et 6.1.14 doit être vérifié.

A l'issue de l'essai ci-dessus, deux autres cycles de fonctionnement doivent être effectués, l'un au niveau minimal et l'autre au niveau maximal de la tension assignée de l'alimentation auxiliaire. Ils doivent être effectués sans défaillance.

NOTE Les essais mécaniques peuvent être effectués sur le mécanisme d'entraînement à moteur séparément ou comme au 5.3.2.

6.3.2 Essai d'isolation des circuits auxiliaires

Les circuits auxiliaires, à l'exception du moteur et des autres éléments qui sont à soumettre aux essais avec des tensions d'essai plus faibles conformément aux normes IEC appropriées, doivent être soumis à un essai de tension de tenue en courant alternatif de source séparée de 2 kV en valeur efficace appliquée pendant 1 min entre toutes les bornes sous tension et le châssis.

7 Exigences pour les changeurs de prises non alimentés

7.1 Exigences générales

7.1.1 Caractéristiques assignées

Les caractéristiques assignées sont les suivantes:

- courant traversant assigné maximal;
- tension d'échelon assignée maximale;
- fréquence assignée;
- niveau d'isolement assigné.

7.1.2 Types

Les changeurs de prises non alimentés peuvent comprendre des interrupteurs rotatifs mécaniques ou linéaires manuels ou à entraînement à moteur.

7.1.3 Manettes et entraînements

Les manettes utilisées comme mécanismes d'entraînement sont normalement des volants à main ou des manivelles et sont soit directement montées sur le changeur de prises non alimenté pour montage sur le couvercle du transformateur, soit sur la protection de tête du changeur de prises non alimenté, ou sur un boîtier de presse-étoupe distant monté à l'extérieur du transformateur. Dans le dernier cas, elles sont reliées au changeur de prises non alimenté, par exemple au moyen d'arbres d'entraînement ou de câbles.

La manette pour actionner les changeurs de prises non alimentés de manière manuelle doit être montée à l'extérieur.

La position de prise doit être clairement indiquée lorsque le changeur de prises non alimenté est complètement en position. Le sens de rotation pour lever ou abaisser la position de prise doit être clairement indiqué. De plus, le nombre de tours pour un changement de prise doit être indiqué le cas échéant.

Un système doit être prévu pour un verrouillage positif du DETC en position de service afin de conduire le courant de fonctionnement dans son intégralité.

7.1.4 Presse-étoupes

Tous les presse-étoupes d'étanchéité des changeurs de prises non alimentés entre le transformateur rempli de liquide ou de gaz ou le réservoir du changeur de prises et l'environnement doivent être étanches au liquide ou au gaz.

7.1.5 Verrouillages

Un dispositif de sécurité doit être prévu pour empêcher que le matériel ne soit actionné involontairement ou par du personnel non autorisé. Un tel dispositif peut être constitué d'un dispositif de verrouillage au niveau du mécanisme d'entraînement manuel qui exige une action délibérée de l'opérateur pour l'enlever.

Le fonctionnement, le retrait ou la réinstallation du dispositif de sécurité doit être possible uniquement lorsque le changeur de prises non alimenté est dans un état de position appropriée.

Si un mécanisme d'entraînement à moteur est utilisé pour actionner le changeur de prises non alimenté, la préférence doit être accordée aux verrouillages automatiques au moyen de circuits de verrouillage électriques.

7.1.6 Fins de course mécaniques

Il ne doit pas être possible d'actionner le changeur de prises non alimenté au-delà de l'extrémité d'étendue jusqu'à une position non choisie. Lorsque le nombre de positions pouvant être choisies peut varier, des fins de course mécaniques ou un dispositif mécanique doivent être incorporés soit dans le sélecteur soit dans le mécanisme d'entraînement manuel pour empêcher le fonctionnement au-delà des première et dernière positions.

7.2 Essais de type

7.2.1 Généralités

Les essais de type suivants doivent être réalisés sur des échantillons des changeurs de prises en charge non alimentés appropriés, après leur fabrication complète ou sur des composants équivalents sous réserve que le constructeur puisse démontrer que les conditions d'essai correspondantes et leurs résultats ne sont pas influencés lorsqu'on soumet uniquement à essai les composants à la place du changeur de prises complet.

NOTE Aucune différenciation n'est à faire en ce qui concerne les alimentations d'essai avec des fréquences de 50 Hz ou 60 Hz. Les essais peuvent être effectués avec l'une ou l'autre fréquence.

- échauffement des contacts (7.2.2);
- essai au courant de court-circuit (7.2.3);
- essais mécaniques (7.2.4);
- essais diélectriques (7.2.5).

7.2.2 Échauffement des contacts

Des essais doivent être réalisés pour vérifier que l'échauffement au-dessus du milieu ambiant de chaque type de contact qui, en service, est parcouru en permanence par le courant ne dépasse pas les valeurs indiquées au Tableau 4 lorsque les contacts ont atteint une température stable lorsqu'ils sont parcourus par 1,2 fois le courant traversant assigné maximal.

Le fait de satisfaire à cette condition démontre l'aptitude à la surcharge selon 4.3.

Lorsque le milieu environnant est liquide, l'essai doit être réalisé à une température du liquide initiale maximale de 40 °C et minimale de 10 °C.

La température du milieu environnant ne doit pas être mesurée à moins de 25 mm en dessous des contacts.

La température doit être mesurée par des thermocouples ou d'autres dispositifs convenables placés de manière à refléter avec exactitude la température de contact réelle aussi près que possible du point de contact. Il convient que le dispositif de mesure soit intégré au contact ou brasé ou soudé sur le contact de sorte qu'il mesure la température globale du contact et non la température de l'interface entre le contact et le milieu de refroidissement.

La température est considérée comme stable lorsque la différence de température entre le contact et le milieu environnant ne varie pas de plus de 1 K pendant une heure.

La section et l'isolation du conducteur amenant le courant au changeur de prises non alimenté ou à ses composants en essai doivent être indiquées.

Tableau 4 – Limites d'échauffement de contact pour les changeurs de prises non alimentés

Matériau de contact	Dans l'air K	Dans du gaz SF ₆ K	Dans du liquide K
Cuivre seul	25	35	15
Cuivre argenté/alliages	40	35	15
Autres matériaux	Suivant accord	Suivant accord	15

Avec le gaz SF₆, la température de contact maximale admissible dans des conditions de surcharge est de 150 °C. Lorsque la température du SF₆ est régulée par une méthode spécifique, le constructeur doit spécifier un échauffement admissible des contacts, qui prend en considération la température réduite du gaz SF₆ environnant l'OLTC. Les essais ultérieurs effectués par le constructeur à l'aide de cette méthode doivent vérifier que la température maximale admissible des contacts (150 °C) n'est pas dépassée.

7.2.3 Essai au courant de court-circuit

Tous les contacts de différents types parcourus en permanence par le courant doivent être soumis à des courants de court-circuit, chacun d'une durée de 2 s ($\pm 10\%$). Dans le cas de changeurs de prises non alimentés immergés dans un liquide, l'essai doit être réalisé dans du liquide de transformateur.

Dans le cas de changeurs de prises non alimentés triphasés, il est suffisant de soumettre aux essais les contacts d'une seule phase, sauf spécification contraire.

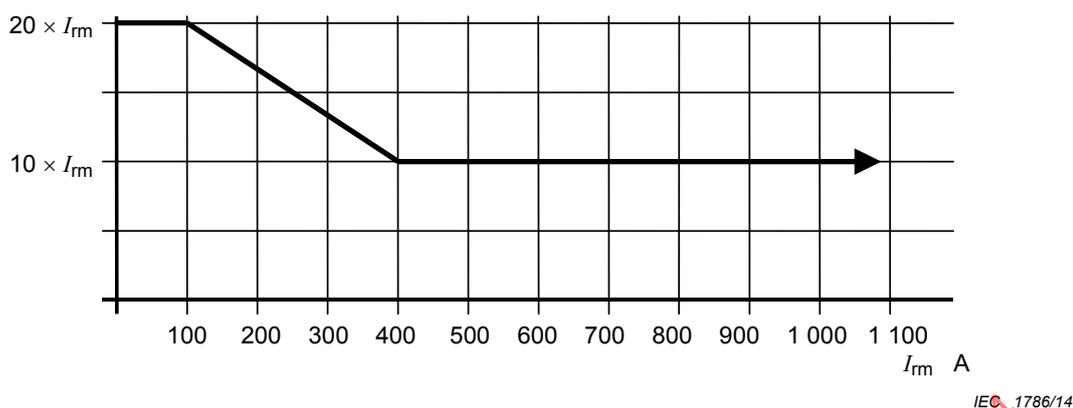


Figure 3 – Courant d’essai de court-circuit (valeur efficace) donné en multiple du courant traversant assigné maximal (changeur de prises non alimenté)

Trois applications doivent être réalisées avec un courant de crête initial de 2,5 ($\pm 5\%$) fois la valeur efficace du courant d’essai de court-circuit assigné. Les contacts ne doivent pas être déplacés entre ces applications.

Lorsqu’il n’y a pas d’enclencheur synchrone et qu’il n’est pas possible d’obtenir trois applications de courant de court-circuit avec un courant de crête initial de 2,5 fois la valeur efficace, l’essai suivant peut être réalisé.

La valeur efficace du courant d’essai de court-circuit peut être augmentée de manière à obtenir le courant de crête assigné pour les trois applications et la durée d’essai peut être réduite. Lorsqu’on utilise cette méthode, le produit du carré de la valeur efficace augmentée du courant par la durée réduite de l’essai ne doit pas être inférieur au produit du carré de la valeur efficace du courant de court-circuit assigné par deux secondes.

Les valeurs du courant d’essai de court-circuit à appliquer doivent être celles données à la Figure 3.

La tension en circuit ouvert pour l’essai doit être d’au moins 50 V.

À la fin de l’essai, les contacts ne doivent pas être endommagés au point d’empêcher la poursuite du fonctionnement correct au courant traversant assigné maximal. Le couple de fonctionnement initial doit être mesuré avant et après l’essai et doit montrer que l’appareil est adapté au service.

Les autres parties parcourues par le courant ne doivent présenter aucun signe de déformation mécanique permanente, qui peut influencer sur le fonctionnement normal du changeur de prises.

7.2.4 Essais mécaniques

7.2.4.1 Essai d’endurance mécanique

Si le changeur de prises non alimenté est de type immergé dans un liquide, il doit être assemblé et rempli de liquide propre ou immergé dans un réservoir d’essai rempli de liquide propre et manœuvré comme dans les conditions normales de service. Les contacts ne doivent pas être alimentés et la totalité de l’étendue de réglage des prises doit être utilisée jusqu’à ce que 2 000 changements de prises au moins aient été réalisés.

Pour les changeurs de prises non alimentés déclarés adaptés à une utilisation avec un mécanisme d’entraînement à moteur, 20 000 manœuvres doivent être effectuées.

Pour les changeurs de prises non alimentés de type à enceinte, cet essai peut être réalisé à température ambiante. Pour les changeurs de prises non alimentés montés dans un réservoir, la moitié des manœuvres doit être réalisée à une température supérieure ou égale à 75 °C et la moitié à une température inférieure, par exemple, pendant les périodes d'échauffement ou de refroidissement, des cycles quotidiens de température pouvant être réalisés.

Au cours de cet essai, il ne doit pas y avoir de défaillance ou d'usure anormale des contacts ou des parties mécaniques qui pourrait conduire à une défaillance mécanique si les manœuvres continuaient.

NOTE Les milieux ambiants déclarés adaptés pour le fonctionnement peuvent être généralement de l'huile minérale isolante, d'autres liquides (tels que les fluides d'ester (naturels ou de synthèse) ou les fluides de silicium), l'air et d'autres gaz.

7.2.4.2 Essais sous pression et sous vide

Des essais appropriés doivent être réalisés sur tous les presse-étoupes et tous les joints pour prouver les valeurs de pression et de vide. Le constructeur doit déclarer ses valeurs.

7.2.5 Essais diélectriques

7.2.5.1 Généralités

Les exigences diélectriques pour un changeur de prises non alimenté dépendent de l'enroulement du transformateur auquel il est à relier.

Le constructeur du transformateur doit être responsable non seulement du choix d'un changeur de prises non alimenté du niveau d'isolement approprié, mais également du niveau d'isolement des connexions entre le changeur de prises non alimenté et les enroulements du transformateur.

Les changeurs de prises non alimentés de type immergé dans un liquide doivent être remplis d'un liquide propre ou être immergés dans un réservoir d'essai rempli de liquide propre avant de réaliser les essais donnés au 7.2.5.2.

7.2.5.2 Nature des essais

Le niveau d'isolement du changeur de prises non alimenté doit être démontré par des essais diélectriques réalisés sur les distances suivantes:

- a) à la terre;
- b) entre phases (le cas échéant);
- c) entre les premier et dernier contacts du changeur de prises non alimenté;

NOTE Dans le cas de modèles de changeurs de prises où les contacts fixes sont droits, cet essai n'est pas applicable.

- d) entre deux contacts adjacents quelconques du changeur de prises non alimenté;
- e) toute distance qui, compte tenu de la configuration des contacts, présente une contrainte plus élevée que celles vérifiées par l'essai ci-dessus.

7.2.5.3 Tensions d'essai

– Classe I

Pour l'essai a), les tensions d'essai doivent être conformes aux valeurs appropriées données dans le Tableau 5. Pour les essais b), c), d) et e), les valeurs de tenue appropriées des tensions de choc de foudre d'onde pleine et coupé, de la tension appliquée et, s'il y a lieu, du choc de manœuvre, doivent être déclarées par le constructeur du changeur de prises non alimenté.

– Classe II

Pour les essais a) et b), la tension d'essai doit être conforme aux valeurs appropriées données dans le Tableau 5. Pour les essais c), d) et e), les valeurs de tenue appropriées du choc de foudre d'onde pleine et coupé, de la tension appliquée et, s'il y a lieu, du choc de manœuvre, doivent être déclarées par le constructeur du changeur de prises non alimenté.

Les valeurs du Tableau 5 représentent les tensions d'essai sélectionnées les plus élevées pour U_m et sont basées sur l'Article 7 de l'IEC 60076-3:2013. Il convient d'utiliser le Tableau 5 pour sélectionner les niveaux d'essai applicables de 7.2.5.5 à 7.2.5.9.

Tableau 5 – Niveaux de tension d'essai pour les changeurs de prises non alimentés

Tension la plus élevée pour le matériel U_m kV	Choc de foudre d'onde pleine kV	Choc de foudre coupé kV	Choc de manœuvre kV	Tension appliquée kV
< 1,1	-	-	-	3
3,6	40	44	-	10
7,2	75*	83*	-	20
12	110*	121*	-	34*
17,5	125*	138*	-	38
24	150*	165*	-	50
36	200*	220*	-	70
52	250	275	-	95
72,5	350*	385*	-	140
100	450	495	375*	185
123	550	605	460*	230
145	650	715	540*	275
170	750	825	620*	325
245	1 050	1 155	850*	460
300	1 050	1 155	850	460
362	1 175	1 290	950	510
420	1 425	1 570	1 175*	630
550	1 675*	1 845*	1 390*	680
800	2 100	2 310	1 675*	-
1 100	2 250	2 475	1 800	-
1 200	2 250	2 475	1 800	-

NOTE Les valeurs comportant un astérisque (*) ne sont pas données dans l'IEC 60076-1:2011 pour la valeur particulière de U_m , mais sont incluses soit parce qu'elles représentent la pratique courante dans certaines régions du monde, soit, pour certains niveaux de chocs de manœuvre, parce qu'elles représentent une valeur coordonnée pour une valeur particulière du niveau de choc de foudre (voir IEC 60076-3:2013).

7.2.5.4 Application des tensions d'essai

Pour les essais diélectriques, le changeur de prises non alimenté doit être assemblé, disposé et séché d'une manière analogue à celle utilisée en service. Toutefois, il n'est pas nécessaire d'inclure les connexions pour relier le changeur de prises non alimenté aux enroulements du transformateur. Lorsque des connexions sont utilisées, il convient qu'elles soient proches de celles employées en service. Les essais peuvent être réalisés sur des composants séparés à condition qu'il puisse être démontré que les mêmes conditions diélectriques s'appliquent.

Pour l'essai a) de 7.2.5.2 effectué sur les changeurs de prises non alimentés de classe I et de classe II et l'essai b) de 7.2.5.2 effectué sur les changeurs de prises non alimentés de classe II, les parties sous tension de chaque phase doivent être court-circuitées et reliées soit à la source de tension soit à la terre comme il convient.

Lorsque le changeur de prises non alimenté comporte un isolement extérieur à la terre, celui-ci doit être contrôlé conformément aux essais applicables décrits dans l'IEC 60137.

La succession préférentielle d'essais est la suivante:

- essai de choc de foudre d'onde pleine;
- essai de choc de foudre coupé;
- essai de choc de manœuvre, s'il y a lieu;
- essai de tension appliquée;
- mesurage des décharges partielles, lorsque cela est exigé.

7.2.5.5 Essai de choc de foudre d'onde pleine (LI)

Le choc d'essai doit être un choc de foudre complet normal ($1,2 \mu\text{s} \pm 30\%$ / $50 \mu\text{s} \pm 20\%$) avec un dépassement maximal de 5 %. La tolérance concernant la valeur de tension d'essai est de $\pm 3\%$. Chaque essai doit comporter trois applications de tension de polarité positive et trois applications de tension de polarité négative, à la valeur exigée.

7.2.5.6 Essai de choc de foudre coupé (LIC)

La forme d'onde des chocs d'onde pleine doit être telle que donnée au 7.2.5.5. Le découpage temporel du choc de foudre coupé doit être compris entre $3 \mu\text{s}$ et $6 \mu\text{s}$. La durée jusqu'à la première valeur nulle de tension après le découpage effectif doit être la plus courte possible. Chaque essai doit comporter trois applications de tension de polarité positive et trois applications de tension de polarité négative, à la valeur exigée.

NOTE En variante, cette exigence peut être satisfaite par la réalisation d'un essai de choc de foudre d'onde pleine avec les valeurs d'essai de l'essai de choc de foudre coupé.

7.2.5.7 Essai de choc de manœuvre (SI)

Cet essai est applicable aux changeurs de prises non alimentés de la classe II dont U_m est supérieure ou égale à 100 kV. L'essai doit être réalisé entre les parties actives et les parties à la terre du changeur de prises non alimenté. La configuration d'essai doit être établie par le constructeur du changeur de prises non alimenté. La forme de l'onde de choc doit être de 250/2 500 μs comme spécifié dans l'IEC 60060-1. Chaque essai doit comporter trois applications de tension de polarité positive et trois applications de tension de polarité négative, à la valeur exigée.

7.2.5.8 Essai de tension appliquée (AV)

Cet essai doit être réalisé avec une tension alternative monophasée conformément à l'IEC 60060-1, à la valeur exigée. La durée de chaque application d'essai doit être de 60 s.

7.2.5.9 Mesurage des décharges partielles

Cet essai n'est pas exigé pour les changeurs de prises de classe I.

Pour les changeurs de prises non alimentés de classe II, un essai doit être réalisé entre les parties actives et les parties à la terre du changeur de prises.

Pour les changeurs de prises non alimentés de classe II qui combinent deux phases ou plus dans une unité (voir par exemple l'IEC 60214-2), un essai doit aussi être réalisé entre les phases adjacentes dans le changeur de prises. La suite des essais décrite ci-dessous peut

être utilisée également pour le mesurage des décharges partielles entre les phases; toutefois, la valeur de référence $U_m / \sqrt{3}$ doit être remplacée par la valeur U_m .

La configuration d'essai doit être établie par le constructeur du changeur de prises non alimenté. La sélection des bornes auxquelles les fils des prises sont connectés est autorisée.

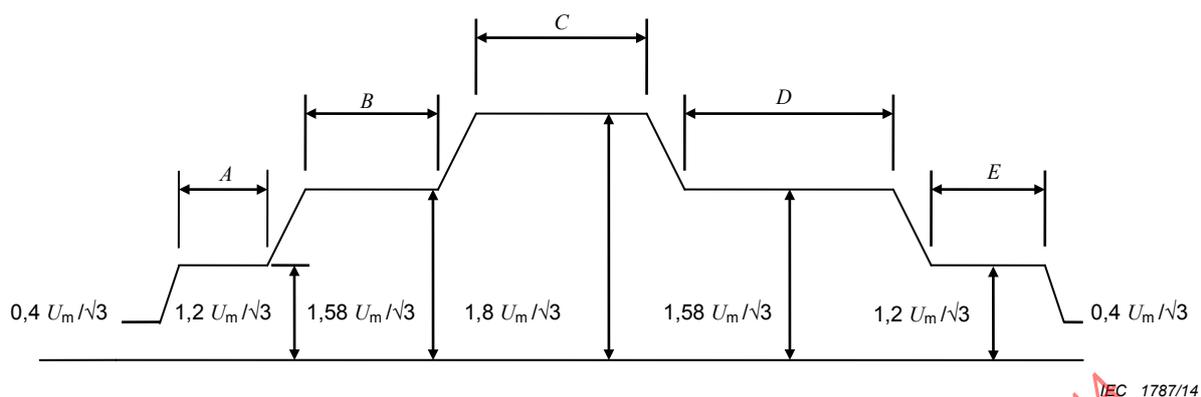
Cet essai doit être réalisé avec une tension alternative monophasée conformément à l'IEC 60060-1.

La suite des essais doit être la suivante:

- la tension doit être activée à un niveau maximal de $0,4 U_m / \sqrt{3}$;
- le mesurage des décharges partielles de fond doit être effectué et consigné;
- la tension doit être augmentée à $1,2 U_m / \sqrt{3}$ et maintenue à cette valeur pendant 1 min au minimum;
- le niveau des décharges partielles doit être mesuré et consigné;
- la tension doit être augmentée à $1,58 U_m / \sqrt{3}$ et maintenue à cette valeur pendant 5 min au minimum;
- le niveau des décharges partielles doit être mesuré et consigné;
- la tension doit être augmentée à la tension d'amélioration de $1,8 U_m / \sqrt{3}$ et maintenue à cette valeur pendant 60 s dans le cas où $U_m \leq 800$ kV et pendant 300 s dans le cas où $U_m > 800$ kV;
- immédiatement après la durée de l'essai, la tension doit être réduite sans interruption à $1,58 U_m / \sqrt{3}$;
- le niveau des décharges partielles doit être mesuré et consigné;
- la tension doit être maintenue à $1,58 U_m / \sqrt{3}$ pendant au moins 60 min;
- le niveau des décharges partielles doit être mesuré et consigné toutes les 5 min pendant la période de 60 min;
- après le dernier mesurage des décharges partielles au cours de la période de 60 min, la tension doit être réduite à $1,2 U_m / \sqrt{3}$ et maintenue à ce niveau pendant 1 min au minimum;
- le niveau des décharges partielles doit être mesuré et consigné;
- la tension doit être réduite à $0,4 U_m / \sqrt{3}$;
- le mesurage des décharges partielles de fond doit être effectué et consigné;
- la tension doit être réduite à une valeur inférieure à $0,4 U_m / \sqrt{3}$;
- la tension doit être désactivée.

Le niveau de décharges partielles doit être observé de manière continue sur au moins une voie de mesure pendant toute la durée de l'essai.

La durée de l'essai doit être telle que représentée à la Figure 4.



Légende

$A = 1 \text{ min}$

$B = 5 \text{ min}$

$C = 60 \text{ s}$ dans le cas où $U_m \leq 800 \text{ kV}$ et 300 s dans le cas où $U_m > 800 \text{ kV}$

$D = 60 \text{ min}$

$E = 1 \text{ min}$

**Figure 4 – Séquence d'application de la tension d'essai
(changeur de prises non alimenté)**

Les décharges partielles doivent être mesurées par une méthode conforme à l'IEC 60270.

Chaque voie de mesure des décharges partielles, y compris le condensateur de couplage associé, doit être étalonnée en termes de charge apparente (pC) conforme à la méthode donnée dans l'IEC 60270.

Le mesurage des décharges partielles doit être donné en charge apparente (pC) et doit faire référence aux chocs répétitifs de régime permanent les plus importants indiqués par l'instrument de mesure.

Les pointes occasionnelles de niveau de décharges partielles élevé peuvent ne pas être prises en compte.

L'essai peut être considéré valable uniquement lorsque le niveau des décharges partielles de fond mesuré ne dépasse pas 10 pC tant au début qu'à la fin de l'essai.

L'essai est satisfaisant lorsque tous les critères suivants sont remplis:

- a) Il n'y a pas d'effondrement de la tension d'essai;
- b) le niveau permanent des décharges partielles ne dépasse pas 50 pC au cours de la période de 60 min (durée D);
- c) le comportement aux décharges partielles ne présente pas de tendance d'augmentation continue et aucune augmentation soutenue subite des niveaux ne se produit au cours des 20 dernières minutes de la période de 60 min (durée D);
- d) le niveau des décharges partielles à une tension de $1,2 U_m / \sqrt{3}$ après la période de 60 min ne dépasse pas 30 pC.

Lorsque le critère c) n'est pas rempli, la période de 60 min peut être prolongée et ce critère est considéré rempli s'il est satisfait pendant une période continue de 60 min.

NOTE La procédure d'essai indiquée ci-dessus est équivalente à l'essai de décharges partielles spécifié au 11.3 de l'IEC 60076-3:2013.

7.2.6 Certificat d'essai de type

Le certificat d'essai doit comprendre:

- tous les détails des dispositifs d'essai adoptés (par exemple, dispositions d'assemblage et séchage) avec des croquis explicatifs si nécessaire;
- tous les détails de tous les essais appliqués conformément aux spécifications de 7.2.2 à 7.2.5.

7.3 Essais individuels de série

7.3.1 Essais mécaniques

Le changeur de prises non alimenté étant complètement assemblé, mais les contacts n'étant pas alimentés, deux cycles complets de fonctionnement doivent être effectués sans défaillance. Au cours de cet essai, tout dispositif de fin de course décrit au 7.1.6 doit être vérifié quant à son fonctionnement et à son réglage corrects.

7.3.2 Essais sous pression et sous vide

Les essais doivent être effectués sur tous les presse-étoupes étanches au liquide et les niveaux doivent être déclarés par le constructeur. Une valeur déclarée de zéro indique que cet essai n'a pas été effectué.

NOTE Les essais sous pression et sous vide sur de petits changeurs de prises non alimentés sont rarement effectués.

8 Exigences pour les mécanismes d'entraînement à moteur des changeurs de prises non alimentés

8.1 Exigences générales

8.1.1 Généralités

Les mécanismes d'entraînement à moteur pour changeurs de prises en charge peuvent être utilisés pour les applications de changeur de prise non alimenté. Pour les changeurs de prises non alimentés, les exigences de 8.1.2 à 8.1.9 doivent s'appliquer au minimum.

Si un mécanisme d'entraînement à moteur est utilisé pour actionner le changeur de prises non alimenté, on doit donner la préférence aux verrouillages automatiques au moyen de circuits de verrouillage électriques.

8.1.2 Conformité des composants

Sauf spécification contraire, les composants des mécanismes d'entraînement à moteur doivent être conformes à la norme IEC correspondante.

8.1.3 Variation admissible de l'alimentation des auxiliaires

Le moteur d'entraînement et le dispositif de commande électrique du mécanisme d'entraînement à moteur doivent être conçus pour fonctionner de manière satisfaisante dans les limites de 85 % à 110 % de la tension d'alimentation assignée (tension alternative et tension continue), la fréquence, dans le cas de la tension alternative, étant la fréquence d'alimentation assignée.