

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



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

**Appareillage à haute tension –  
Partie 101: Essais synthétiques**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-101:2021



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2021 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  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

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

### About IEC publications

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

#### IEC publications search - [webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

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

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

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

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

#### IEC online collection - [oc.iec.ch](http://oc.iec.ch)

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

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

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 18 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

### 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.

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

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

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

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

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

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

#### IEC online collection - [oc.iec.ch](http://oc.iec.ch)

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

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

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



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

**Appareillage à haute tension –  
Partie 101: Essais synthétiques**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

ICS 29.130.10

ISBN 978-2-8322-1004-6

**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.....                                                                                                                                             | 9  |
| 1 Scope.....                                                                                                                                              | 11 |
| 2 Normative references.....                                                                                                                               | 11 |
| 3 Terms and definitions .....                                                                                                                             | 11 |
| 4 Synthetic testing techniques and methods for short-circuit breaking tests.....                                                                          | 13 |
| 4.1 Basic principles and general requirements for synthetic breaking test methods.....                                                                    | 13 |
| 4.1.1 General .....                                                                                                                                       | 13 |
| 4.1.2 High-current interval.....                                                                                                                          | 14 |
| 4.1.3 Interaction interval .....                                                                                                                          | 15 |
| 4.1.4 High-voltage interval .....                                                                                                                         | 15 |
| 4.2 Synthetic test circuits and related specific requirements for breaking tests .....                                                                    | 18 |
| 4.2.1 Current injection methods.....                                                                                                                      | 18 |
| 4.2.2 Voltage injection method .....                                                                                                                      | 19 |
| 4.2.3 Duplicate circuit method (transformer or Skeats circuit).....                                                                                       | 20 |
| 4.2.4 Other synthetic test methods .....                                                                                                                  | 20 |
| 4.3 Three-phase synthetic test methods .....                                                                                                              | 20 |
| 5 Synthetic testing techniques and methods for short-circuit making tests.....                                                                            | 24 |
| 5.1 Basic principles and general requirements for synthetic making test methods .....                                                                     | 24 |
| 5.1.1 General .....                                                                                                                                       | 24 |
| 5.1.2 High-voltage interval .....                                                                                                                         | 27 |
| 5.1.3 Pre-arcing interval.....                                                                                                                            | 27 |
| 5.1.4 Latching interval and fully closed position .....                                                                                                   | 27 |
| 5.2 Synthetic test circuit and related specific requirements for making tests .....                                                                       | 27 |
| 5.2.1 General .....                                                                                                                                       | 27 |
| 5.2.2 Test circuit and test requirements.....                                                                                                             | 27 |
| 5.2.3 Alternative test method with reduced voltage .....                                                                                                  | 32 |
| 7 Type tests .....                                                                                                                                        | 33 |
| 7.102 General.....                                                                                                                                        | 33 |
| 7.104 Demonstration of arcing times .....                                                                                                                 | 34 |
| 7.107 Terminal fault tests.....                                                                                                                           | 45 |
| 7.109 Short-line fault tests .....                                                                                                                        | 49 |
| 7.110 Out-of-phase making and breaking tests .....                                                                                                        | 50 |
| 7.111 Capacitive current tests.....                                                                                                                       | 50 |
| Annex A (normative) Correction of $di/dt$ and TRV for test duty T100a .....                                                                               | 53 |
| A.1 General.....                                                                                                                                          | 53 |
| A.2 Reduction in $di/dt$ .....                                                                                                                            | 53 |
| A.3 Corrected TRV for the first-pole-to-clear with required asymmetry .....                                                                               | 53 |
| A.4 Correction of the $di/dt$ and TRV of the first-pole-to-clear for tests with intermediate asymmetry .....                                              | 60 |
| A.5 Correction of the $di/dt$ and TRV of the second- or last-pole-to-clear with major extended loop with required asymmetry during three-phase tests..... | 61 |
| A.6 Correction of the $di/dt$ and TRV during tests with a subsequent minor loop .....                                                                     | 61 |
| A.7 Calculation of the $di/dt$ and TRV of the first-pole-to-clear .....                                                                                   | 61 |
| A.7.1 General .....                                                                                                                                       | 61 |
| A.7.2 Calculation of $di/dt$ .....                                                                                                                        | 61 |

|                       |                                                                                                             |     |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| A.7.3                 | Calculation of TRV .....                                                                                    | 62  |
| A.7.4                 | Examples of calculation of $di/dt$ and TRV .....                                                            | 64  |
| Annex B (normative)   | Tolerances on test quantities for type tests .....                                                          | 66  |
| Annex C (normative)   | Information to be given and results to be recorded for synthetic tests .....                                | 69  |
| C.1                   | General .....                                                                                               | 69  |
| C.2                   | Auxiliary circuit-breaker .....                                                                             | 69  |
| C.3                   | Test conditions .....                                                                                       | 69  |
| C.4                   | Quantities to be recorded .....                                                                             | 69  |
| C.4.1                 | General .....                                                                                               | 69  |
| C.4.2                 | Voltages .....                                                                                              | 69  |
| C.4.3                 | Currents .....                                                                                              | 69  |
| Annex D (normative)   | Test procedure using a three-phase current circuit and one voltage circuit .....                            | 70  |
| D.1                   | Test circuit .....                                                                                          | 70  |
| D.2                   | Test method .....                                                                                           | 71  |
| D.2.1                 | General .....                                                                                               | 71  |
| D.2.2                 | Test duty T100s(b) .....                                                                                    | 71  |
| D.2.3                 | Test duty T100a .....                                                                                       | 80  |
| D.2.4                 | Combination of first-pole-to-clear factors 1,3 and 1,5 .....                                                | 89  |
| Annex E (normative)   | Splitting of test duties in test series taking into account the associated TRV for each pole-to-clear ..... | 92  |
| E.1                   | General .....                                                                                               | 92  |
| E.2                   | Test-duties T10, T30, T60, T100s(b), OP1 and OP2(b) .....                                                   | 92  |
| E.2.1                 | Test procedure for first-pole-to-clear factors 1,5 and 2,5 .....                                            | 92  |
| E.2.2                 | Test procedure for first-pole-to-clear factors 1,3 and 2,0 .....                                            | 93  |
| E.2.3                 | Test procedure for first-pole-to-clear factor 1,2 .....                                                     | 94  |
| E.3                   | Test duty T100a .....                                                                                       | 95  |
| E.3.1                 | General .....                                                                                               | 95  |
| E.3.2                 | Test procedure for first-pole-to-clear factor 1,5 .....                                                     | 96  |
| E.3.3                 | Test procedure for first-pole-to-clear factor 1,3 .....                                                     | 97  |
| E.3.4                 | Test procedure for first-pole-to-clear factor 1,2 .....                                                     | 99  |
| E.4                   | Combination of first-pole-to-clear factors .....                                                            | 100 |
| E.4.1                 | General .....                                                                                               | 100 |
| E.4.2                 | Combination of first-pole-to-clear factors 1,3 and 1,5 for test duties T10, T30, T60 and T100s(b) .....     | 100 |
| E.4.3                 | Combination of first-pole-to-clear factors 2,0 and 2,5 for test duties OP1 and OP2(b) .....                 | 101 |
| E.4.4                 | Combination of first-pole-to-clear factors 1,3 and 1,5 for test duty T100a .....                            | 102 |
| Annex F (informative) | Three-phase synthetic test circuits .....                                                                   | 114 |
| F.1                   | General .....                                                                                               | 114 |
| F.2                   | Three-phase synthetic combined circuit .....                                                                | 114 |
| F.3                   | Three-phase synthetic circuit with injection in all phases .....                                            | 117 |
| F.4                   | Three-phase synthetic circuit with injection in two phases .....                                            | 118 |
| Annex G (informative) | Examples of test circuits for metal-enclosed and dead tank circuit-breakers .....                           | 122 |
| Annex H (informative) | Step-by-step method to prolong arcing .....                                                                 | 133 |
| Annex I (informative) | Synthetic methods for capacitive current tests .....                                                        | 135 |
| I.1                   | General .....                                                                                               | 135 |

|                       |                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| I.2                   | Recovery voltage .....                                                                                                                            | 135 |
| I.3                   | Combined current and voltage circuits .....                                                                                                       | 135 |
| I.4                   | Making tests .....                                                                                                                                | 136 |
| I.5                   | Current chopping .....                                                                                                                            | 136 |
| I.6                   | Examples test circuits .....                                                                                                                      | 136 |
| Annex J (normative)   | Synthetic test methods for circuit-breakers with opening resistors .....                                                                          | 145 |
| J.1                   | General.....                                                                                                                                      | 145 |
| J.2                   | Conditions.....                                                                                                                                   | 145 |
| J.2.1                 | General .....                                                                                                                                     | 145 |
| J.2.2                 | Transient recovery voltage interval .....                                                                                                         | 145 |
| J.2.3                 | Power-frequency recovery voltage interval.....                                                                                                    | 145 |
| J.3                   | Multiple step test procedure .....                                                                                                                | 145 |
| J.3.1                 | General .....                                                                                                                                     | 145 |
| J.3.2                 | Test to verify the re-ignition behaviour of the making and breaking unit .....                                                                    | 146 |
| J.3.3                 | Test to verify the re-ignition behaviour of the making and breaking unit during short circuit test duties with any test method .....              | 147 |
| J.3.4                 | Tests on resistor switch(s).....                                                                                                                  | 148 |
| J.4                   | Test requirements .....                                                                                                                           | 149 |
| J.4.1                 | General .....                                                                                                                                     | 149 |
| J.4.2                 | Testing of the making and breaking unit.....                                                                                                      | 150 |
| J.4.3                 | Testing of the resistor switch.....                                                                                                               | 151 |
| J.4.4                 | Test of the resistor stack .....                                                                                                                  | 151 |
| Annex K (informative) | Combination of current injection and voltage injection methods.....                                                                               | 152 |
| K.1                   | Current injection methods.....                                                                                                                    | 152 |
| K.2                   | Voltage injection methods .....                                                                                                                   | 152 |
| K.3                   | Combined current and voltage injection circuits.....                                                                                              | 152 |
| K.3.1                 | General .....                                                                                                                                     | 152 |
| K.3.2                 | Combined current and voltage injection circuit with application of full test voltage to earth .....                                               | 152 |
| K.3.3                 | Combined current and voltage injection circuit with separated application of test voltage.....                                                    | 152 |
| Bibliography          | .....                                                                                                                                             | 155 |
| Figure 1              | – Interrupting process – Basic time intervals .....                                                                                               | 14  |
| Figure 2              | – Examples of evaluation of initial recovery voltage.....                                                                                         | 17  |
| Figure 3              | – Equivalent surge impedance of the voltage circuit for the current injection method .....                                                        | 19  |
| Figure 4              | – Reference lines of TRV with four-parameter for $k_{pp} = 1,5$ .....                                                                             | 22  |
| Figure 5              | – Reference lines of TRV with four-parameter for $k_{pp} = 1,3$ .....                                                                             | 23  |
| Figure 6              | – Reference lines of TRV with four-parameter for $k_{pp} = 1,2$ .....                                                                             | 24  |
| Figure 7              | – Making process – Basic time intervals.....                                                                                                      | 26  |
| Figure 8              | – Example of synthetic making circuit for single-phase tests.....                                                                                 | 29  |
| Figure 9              | – Example of synthetic making circuit for out-of-phase tests .....                                                                                | 30  |
| Figure 10             | – Example of synthetic making circuit for three-phase tests ( $k_{pp} = 1,5$ ).....                                                               | 31  |
| Figure 11             | – Comparison of arcing time settings during three-phase direct tests (left) and three-phase synthetic (right) for T100s with $k_{pp} = 1,5$ ..... | 37  |

|                                                                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 12 – Comparison of arcing time settings during three-phase direct tests (left) and three-phase synthetic (right) for T100s with $k_{pp} = 1,3$ .....                                                               | 38  |
| Figure 13 – Comparison of arcing time settings during three-phase direct tests (left) and three-phase synthetic tests (right) for T100a with $k_{pp} = 1,5$ .....                                                         | 41  |
| Figure 14 – Comparison of arcing time settings during three-phase direct tests (left) and three-phase synthetic tests (right) for T100a with $k_{pp} = 1,3$ .....                                                         | 42  |
| Figure 15 – Evaluation of recovery voltage during synthetic capacitive current switching testing .....                                                                                                                    | 52  |
| Figure D.1 – Example of a three-phase current circuit with single-phase synthetic injection .....                                                                                                                         | 71  |
| Figure D.2 – Representation of the testing conditions of Table D.1 .....                                                                                                                                                  | 73  |
| Figure D.3 – Representation of the testing conditions of Table D.2 .....                                                                                                                                                  | 75  |
| Figure D.4 – Representation of the testing conditions of Table D.3 .....                                                                                                                                                  | 77  |
| Figure D.5 – Representation of the testing conditions of Table D.4 .....                                                                                                                                                  | 79  |
| Figure D.6 – Representation of the testing conditions of Table D.5 .....                                                                                                                                                  | 82  |
| Figure D.7 – Representation of the testing conditions of Table D.6 .....                                                                                                                                                  | 84  |
| Figure D.8 – Representation of the testing conditions of Table D.7 .....                                                                                                                                                  | 86  |
| Figure D.9 – Representation of the testing conditions of Table D.8 .....                                                                                                                                                  | 88  |
| Figure E.1 – Example of graphical representation of the tests shown in Table E.6 .....                                                                                                                                    | 97  |
| Figure E.2 – Example of graphical representation of the tests shown in Table E.7 and Table E.8 .....                                                                                                                      | 99  |
| Figure F.1 – Three-phase synthetic combined circuit .....                                                                                                                                                                 | 115 |
| Figure F.2 – Waveshapes of currents, phase-to-ground and phase-to phase voltages during a three-phase synthetic test (T100s; $k_{pp} = 1,5$ ) performed according to the three-phase synthetic combined circuit .....     | 116 |
| Figure F.3 – Three-phase synthetic circuit with injection in all phases for $k_{pp} = 1,5$ .....                                                                                                                          | 117 |
| Figure F.4 – Waveshapes of currents and phase-to-ground voltages during a three-phase synthetic test (T100s; $k_{pp} = 1,5$ ) performed according to the three-phase synthetic circuit with injection in all phases ..... | 118 |
| Figure F.5 – Three-phase synthetic circuit for terminal fault tests with $k_{pp} = 1,3$ (current injection method) .....                                                                                                  | 119 |
| Figure F.6 – Waveshapes of currents and phase-to-ground voltages during a three-phase synthetic test (T100s; $k_{pp} = 1,3$ ) performed according to the three-phase synthetic circuit shown in Figure F.5 .....          | 120 |
| Figure F.7 – TRV voltages waveshapes of the test circuit described in Figure F.5 .....                                                                                                                                    | 121 |
| Figure G.1 – Example of a test circuit for unit testing (circuit-breaker with interaction due to gas circulation) .....                                                                                                   | 123 |
| Figure G.2 – Oscillogram corresponding to Figure G.1 – Example of the required TRVs to be applied between the terminals of the unit(s) under test and between the live parts and the insulated enclosure .....            | 124 |
| Figure G.3 – Example of test circuit using two voltage circuits for breaking tests .....                                                                                                                                  | 125 |
| Figure G.4 – Example of test circuit using two voltage circuits for breaking tests .....                                                                                                                                  | 126 |
| Figure G.5 – Example of a synthetic test circuit for unit testing (if unit testing is allowed as per 7.102.4.2 of IEC 62271-100:2021) .....                                                                               | 127 |
| Figure G.6 – Oscillogram corresponding to Figure G.3 – Example of the required TRVs to be applied between the terminals of the unit(s) under test and between the live parts and the insulated enclosure .....            | 128 |

|                                                                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure G.7 – Example of a capacitive current injection circuit with enclosure of the circuit-breaker energized .....                                                                            | 129 |
| Figure G.8 – Example of a capacitive synthetic circuit using two power-frequency circuits and with the enclosure of the circuit-breaker energized .....                                         | 130 |
| Figure G.9 – Example of a capacitive synthetic current injection circuit – Unit testing on half a pole of a circuit-breaker with two units per pole – Enclosure energized with DC voltage ..... | 131 |
| Figure G.10 – Example of a synthetic making circuit for out-of-phase tests .....                                                                                                                | 132 |
| Figure H.1 – Example of a re-ignition circuit diagram for prolonging arc-duration .....                                                                                                         | 133 |
| Figure H.2 – Example of waveforms obtained during a symmetrical test using the circuit in Figure H.1 .....                                                                                      | 134 |
| Figure I.1 – Power-frequency circuits in parallel .....                                                                                                                                         | 138 |
| Figure I.2 – Current injection circuit .....                                                                                                                                                    | 139 |
| Figure I.3 – Power-frequency current injection circuit .....                                                                                                                                    | 140 |
| Figure I.4 – Current injection circuit, recovery voltage applied to both terminals of the circuit-breaker .....                                                                                 | 141 |
| Figure I.5 – Current injection circuit with decay compensation .....                                                                                                                            | 142 |
| Figure I.6 – LC oscillating circuit .....                                                                                                                                                       | 143 |
| Figure I.7 – Inrush making current test circuit .....                                                                                                                                           | 144 |
| Figure J.1 – Test circuit to verify re-ignition behaviour of the making and breaking unit using current injection method .....                                                                  | 147 |
| Figure J.2 – Test circuit to verify re-ignition behaviour of the making and breaking unit .....                                                                                                 | 148 |
| Figure J.3 – Test circuit on the resistor switch .....                                                                                                                                          | 149 |
| Figure J.4 – Example of test circuit for capacitive current switching tests on the making and breaking unit .....                                                                               | 150 |
| Figure J.5 – Example of test circuit for capacitive current switching tests on the resistor switch .....                                                                                        | 151 |
| Figure K.1 – Example of combined current and voltage injection circuit with application of full test voltage to earth .....                                                                     | 153 |
| Figure K.2 – Example of combined current and voltage injection circuit with separated application of test voltage .....                                                                         | 154 |
| Table 1 – Tolerances and limits required during the high-current interval .....                                                                                                                 | 15  |
| Table 2 – Test circuits for test duties T100s and T100a .....                                                                                                                                   | 21  |
| Table 3 – Test parameters during three-phase interruption for test-duties T10, T30, T60 and T100s, $k_{pp} = 1,5$ .....                                                                         | 21  |
| Table 4 – Test parameters during three-phase interruption for test-duties T10, T30, T60 and T100s, $k_{pp} = 1,3$ .....                                                                         | 22  |
| Table 5 – Test parameters during three phase interruption for test-duties T10, T30, T60 and T100s, $k_{pp} = 1,2$ .....                                                                         | 23  |
| Table 6 – Symbols and abbreviated terms used for operation during synthetic tests .....                                                                                                         | 33  |
| Table 7 – Synthetic test methods for test duties T10, T30, T60, T100s, T100a, SP, DEF, OP and SLF .....                                                                                         | 46  |
| Table A.1 – Corrected TRV values for the first-pole-to-clear for $k_{pp} = 1,3$ and $f_r = 50$ Hz .....                                                                                         | 54  |
| Table A.2 – Corrected TRV values for the first-pole-to-clear for $k_{pp} = 1,3$ and $f_r = 60$ Hz .....                                                                                         | 55  |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Table A.3 – Corrected TRV values for the first-pole-to-clear for $k_{pp} = 1,5$ and $f_r = 50$ Hz .....                         | 57  |
| Table A.4 – Corrected TRV values for the first-pole-to-clear for $k_{pp} = 1,5$ and $f_r = 60$ Hz .....                         | 58  |
| Table A.5 – Corrected TRV values for the first-pole-to-clear for $k_{pp} = 1,2$ and $f_r = 50$ Hz .....                         | 58  |
| Table A.6 – Corrected TRV values for the first-pole-to-clear for $k_{pp} = 1,2$ and $f_r = 60$ Hz .....                         | 59  |
| Table A.7 – Percentage of DC component and $di/dt$ at current zero for first-pole-to-clear for $f_r = 50$ Hz .....              | 59  |
| Table A.8 – Percentage of DC component and $di/dt$ at current zero for first-pole-to-clear for $f_r = 60$ Hz .....              | 60  |
| Table B.1 – Tolerances on test quantities for type tests .....                                                                  | 67  |
| Table D.1 – Demonstration of arcing times for $k_{pp} = 1,5$ .....                                                              | 72  |
| Table D.2 – Alternative demonstration of arcing times for $k_{pp} = 1,5$ .....                                                  | 74  |
| Table D.3 – Demonstration of arcing times for $k_{pp} = 1,3$ .....                                                              | 76  |
| Table D.4 – Alternative demonstration of arcing times for $k_{pp} = 1,3$ .....                                                  | 78  |
| Table D.5 – Demonstration of arcing times for $k_{pp} = 1,5$ .....                                                              | 81  |
| Table D.6 – Alternative demonstration of arcing times for $k_{pp} = 1,5$ .....                                                  | 83  |
| Table D.7 – Demonstration of arcing times for $k_{pp} = 1,3$ .....                                                              | 85  |
| Table D.8 – Alternative demonstration of arcing times for $k_{pp} = 1,3$ .....                                                  | 87  |
| Table D.9 – Procedure for combining $k_{pp} = 1,5$ and 1,3 during test-duties T10, T30, T60 and T100s(b) .....                  | 89  |
| Table D.10 – Procedure for combining $k_{pp} = 1,5$ and 1,3 during test-duty T100a .....                                        | 90  |
| Table E.1 – Test procedure for $k_{pp} = 1,5$ and 2,5 .....                                                                     | 92  |
| Table E.2 – Test procedure for $k_{pp} = 1,3$ and 2,0 .....                                                                     | 93  |
| Table E.3 – Simplified test procedure for $k_{pp} = 1,3$ and 2,0 .....                                                          | 94  |
| Table E.4 – Test procedure for $k_{pp} = 1,2$ .....                                                                             | 95  |
| Table E.5 – Simplified test procedure for $k_{pp} = 1,2$ .....                                                                  | 95  |
| Table E.6 – Test procedure for asymmetrical currents for $k_{pp} = 1,5$ .....                                                   | 96  |
| Table E.7 – Test procedure for asymmetrical currents for $k_{pp} = 1,3$ .....                                                   | 98  |
| Table E.8 – Test procedure for asymmetrical currents for $k_{pp} = 1,2$ .....                                                   | 100 |
| Table E.9 – Procedure for combining $k_{pp} = 1,3$ and 1,5 for test-duties T10, T30, T60 and T100s(b) .....                     | 101 |
| Table E.10 – Procedure for combining $k_{pp} = 2,0$ and 2,5 for test-duties OP1 and OP2(b) .....                                | 102 |
| Table E.11 – Procedure for combining $k_{pp} = 1,5$ and 1,3 for test-duty T100a .....                                           | 103 |
| Table E.12 – Required test parameters for different asymmetrical conditions in the case of $k_{pp} = 1,5$ , $f_r = 50$ Hz ..... | 104 |

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Table E.13 – Required test parameters for different asymmetrical conditions in the case of a $k_{pp} = 1,3$ , $f_r = 50$ Hz ..... | 106 |
| Table E.14 – Required test parameters for different asymmetrical conditions in the case of $k_{pp} = 1,2$ , $f_r = 50$ Hz .....   | 108 |
| Table E.15 – Required test parameters for different asymmetrical conditions in the case of $k_{pp} = 1,5$ , $f_r = 60$ Hz .....   | 109 |
| Table E.16 – Required test parameters for different asymmetrical conditions in the case of $k_{pp} = 1,3$ , $f_r = 60$ Hz .....   | 111 |
| Table E.17 – Required test parameters for different asymmetrical conditions in the case of $k_{pp} = 1,2$ , $f_r = 60$ Hz .....   | 113 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-101:2021

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

## Part 101: Synthetic testing

## 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 62271-101 has been prepared by subcommittee 17A: Switching devices, of IEC technical committee 17: High-voltage switchgear and controlgear.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2012 and Amendment 1:2017. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) alignment with the third edition of IEC 62271-100:2021;
- b) update this document with the last methods and techniques used for synthetic tests;

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

| FDIS          | Report on voting |
|---------------|------------------|
| 17A/1312/FDIS | 17A/1315/RVD     |

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). The main document types developed by IEC are described in greater detail at [www.iec.ch/standardsdev/publications](http://www.iec.ch/standardsdev/publications).

This publication shall be read in conjunction with IEC 62271-100:2021, to which it refers. The numbering of the subclauses of Clause 7 is the same as in IEC 62271-100. However, not all subclauses of IEC 62271-100 are addressed; merely those where synthetic testing has introduced changes.

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

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under [webstore.iec.ch](http://webstore.iec.ch) in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

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

# HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –

## Part 101: Synthetic testing

### 1 Scope

This part of IEC 62271 mainly applies to AC circuit-breakers within the scope of IEC 62271-100. It provides the general rules for testing AC circuit-breakers, for making and breaking capacities over the range of test duties described in 7.102 to 7.111 of IEC 62271-100:2021, by synthetic methods.

It has been proven that synthetic testing is an economical and technically correct way to test high-voltage AC circuit-breakers according to the requirements of IEC 62271-100 and that it is equivalent to direct testing.

The methods and techniques described are those in general use. The purpose of this document is to establish criteria for synthetic testing and for the proper evaluation of results. Such criteria will establish the validity of the test method without imposing restraints on innovation of test circuitry.

### 2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 62271-100:2021, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers*

### 3 Terms and definitions

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

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

#### 3.1

##### **direct test**

test in which the applied voltage, the current and the transient and power-frequency recovery voltages are all obtained from a circuit having a single-power source, which can be a power system or special alternators as used in short-circuit testing stations or a combination of both

#### 3.2

##### **synthetic test**

test in which all of the current, or a major portion of it, is obtained from one source (current circuit), and in which the applied voltage and/or the recovery voltages (transient and power frequency) are obtained wholly or in part from one or more separate sources (voltage circuits)

### 3.3

#### **auxiliary circuit-breaker**

circuit-breaker forming part of a synthetic test circuit used to put the test circuit-breaker into the required relation with various circuits

### 3.4

#### **current circuit**

part of the synthetic test circuit from which all or the major part of the power-frequency current is obtained

### 3.5

#### **voltage circuit**

part of the synthetic test circuit from which all or the major part of the applied voltage and/or recovery voltage is obtained

### 3.6

#### **prospective current**

current that would flow in the circuit if each pole of the test and auxiliary circuit-breakers were replaced by a conductor of negligible impedance

Note 1 to entry: Compared with IEC 60050-441:2000, 441-17-01, the domain between brackets has been deleted. In the definition. The words "the switching device or the fuse" have been replaced by "the test and auxiliary circuit-breakers", and the Note to entry has been deleted.

### 3.7

#### **actual current**

current through the test circuit-breaker

Note 1 to entry: The actual current is a prospective current modified by the arc voltage of the test and auxiliary circuit-breakers.

### 3.8

#### **post-arc current**

current which flows through the arc gap of a circuit-breaker after the arc voltage have reached zero and the transient recovery voltage begins to rise

### 3.9

#### **current injection method**

synthetic test method in which the voltage circuit is applied to the test circuit-breaker before power-frequency current zero

### 3.10

#### **initial transient making current**

##### **ITMC**

transient current which flows through the circuit-breaker at the moment of voltage breakdown prior to the initiation of current from the current circuit during making

### 3.11

#### **injected current**

current supplied by the voltage circuit of a current injection circuit when it is connected to the circuit-breaker under test

### 3.12

#### **voltage injection method**

synthetic test method in which the voltage circuit is applied to the test circuit-breaker after power-frequency current zero

**3.13****reference system conditions**

conditions of an electrical system having the parameters from which the rated and test values of IEC 62271-100 are derived

**3.14****time delay of making device** $t_m$ 

time interval, during synthetic making test, between the instant of breakdown of the applied voltage and the initiation of current from the current circuit

**3.15****pre-strike**

voltage breakdown between the contacts during a making operation which initiates current flow

**3.16****intermediate asymmetry**

level of asymmetry in the other two phases having a reduced (intermediate) level of asymmetry when in a three-phase system the short-circuit current is initiated simultaneously in all phases and maximum asymmetry is obtained in one of the phases

**3.17****rate-of-decay of dielectric strength****RDDS**

voltage withstand reduction between the contacts as a function of time or contact gap during closing

[SOURCE: IEC TR 62271-302:2010, 3.7.5, modified – The words "between the contacts" have been added after "reduction" and "of a circuit-breaker" have been deleted at the end.]

**4 Synthetic testing techniques and methods for short-circuit breaking tests****4.1 Basic principles and general requirements for synthetic breaking test methods****4.1.1 General**

Any particular synthetic method chosen for testing shall adequately stress the test circuit-breaker. Generally, the adequacy is established when the test method meets the requirements set forth in the following paragraphs and subclauses of 4.1, 4.2 and 4.3.

A circuit-breaker has two basic positions: closed and open. In the closed position a circuit-breaker conducts full current with negligible voltage drop across its contacts. In the open position it conducts negligible current but with full voltage across the contacts. This defines the two main stresses, the current stress and the voltage stress, which are separated in time.

If closer attention is paid to the voltage and current stresses during the interrupting process (Figure 1), three main intervals can be recognized.

– High-current interval

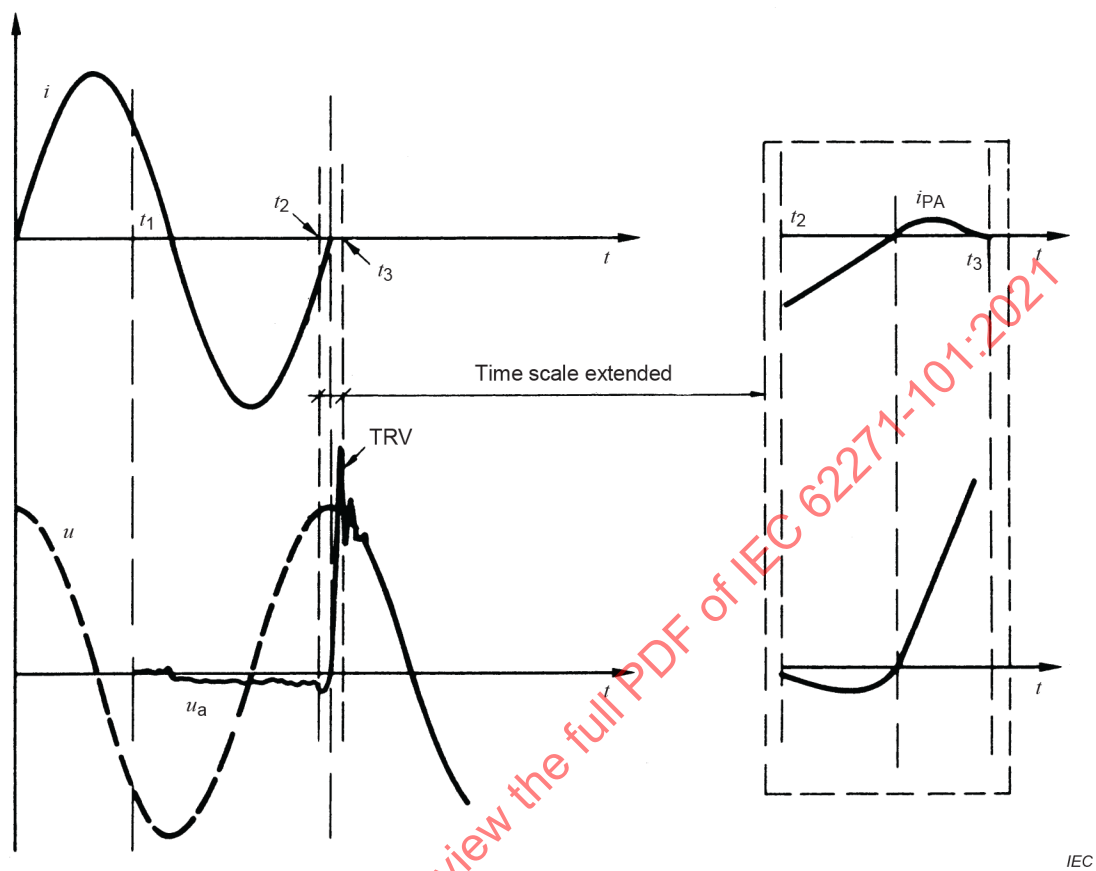
The high-current interval is the time from contact separation to the start of the significant change in arc voltage. The high-current interval precedes the interaction and high-voltage intervals.

– Interaction interval

The interaction interval is the time from the start of the significant change in arc voltage prior to current zero to the time when the current including the post-arc current, if any, ceases to flow through the test circuit-breaker (see also 14.2.4 of IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018).

– High-voltage interval

The high-voltage interval is the time from the moment when the current including the post-arc current, if any, ceases to flow through the test circuit-breaker to the end of the test.



Key

|          |                               |             |                                            |
|----------|-------------------------------|-------------|--------------------------------------------|
| $i$      | breaking current              | $t_2$       | start of significant change in arc voltage |
| $u$      | power-frequency voltage       | $t_3$       | instant of cessation of post-arc current   |
| $u_a$    | arc voltage                   | $t_2 - t_1$ | high-current interval                      |
| TRV      | transient recovery voltage    | $t_3 - t_2$ | interaction interval                       |
| $i_{PA}$ | post-arc current              | After $t_3$ | high-voltage interval                      |
| $t_1$    | instant of contact separation |             |                                            |

Figure 1 – Interrupting process – Basic time intervals

4.1.2 High-current interval

The tolerance on the power-frequency of the actual breaking current is given in 7.103.2.1 of IEC 62271-100:2021. The following requirements concerning the actual current through the test circuit-breaker as shown in Table 1 shall be met.

**Table 1 – Tolerances and limits required during the high-current interval**

| Test duty                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Tolerance and limits relative to specified test values of breaking current <sup>a</sup> |                   |                                         |                                         |                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | At contact separation                                                                   |                   | Last loop prior to interruption         |                                         |                                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | RMS<br>%                                                                                | DC component<br>% | Peak value<br>%                         | Duration<br>%                           | Product of peak value and duration<br>% |
| T10, T30, OP1, critical current test                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ±20                                                                                     | ≤ 20              | ≥ 90                                    | ≥ 90                                    | -                                       |
| T60                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ±10                                                                                     | ≤ 20              | ≥ 90                                    | ≥ 90                                    | -                                       |
| T100s                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | +5<br>0                                                                                 | ≤ 20              | ≥ 90                                    | ≥ 90                                    | ≥ 95 <sup>b</sup>                       |
| T100a                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ±10                                                                                     |                   | ≤ 110 <sup>c</sup><br>≥ 90 <sup>c</sup> | ≤ 110 <sup>d</sup><br>≥ 90 <sup>d</sup> | ≤ 110<br>≥ 95 <sup>b</sup><br>≥ 90      |
| SP, DEF                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | +5<br>0                                                                                 | ≤ 20              | ≥ 90                                    | ≥ 90                                    |                                         |
| L <sub>90</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | +5,6<br>0                                                                               | ≤ 20              | ≤ 110<br>≥ 95                           | ≥ 90                                    | ≥ 95                                    |
| L <sub>75</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ±5,3                                                                                    | ≤ 20              | ≤ 110<br>≥ 95                           | ≥ 90                                    | ≥ 95                                    |
| L <sub>60</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ±8,3                                                                                    | ≤ 20              | ≤ 110<br>≥ 95                           | ≥ 90                                    | ≥ 95                                    |
| OP2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | +10<br>0                                                                                | ≤ 20              | ≥ 90                                    | ≥ 90                                    |                                         |
| <sup>a</sup> This table lists the tolerances applicable during tests. Specified test values of breaking current, given in Annex B of IEC 62271-100:2021, are a single value excluding any tolerance.<br><sup>b</sup> Applicable only if tested with ITRV.<br><sup>c</sup> Specified peak value of breaking current multiplied by the last current loop multiplication factor given in Table E.12 to Table E.17, and Table A.7 and Table A.8.<br><sup>d</sup> Specified duration of the last current loop given in Table E.12 to Table E.17, and Table A.7 and Table A.8. |                                                                                         |                   |                                         |                                         |                                         |

In rare cases, where the applied voltage from the high-current circuit is of the same magnitude as the required test voltage in a direct test circuit, a higher deviation of the last current loop is accepted provided that the current loop influenced by the auxiliary circuit-breaker arcing is within the specified tolerances in Annex B of IEC 62271-100:2021.

Examples are given in 14.7 of IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018.

#### 4.1.3 Interaction interval

There is no specific requirement related to the interaction interval.

See IEC TR 62271-306:2012 and IEC TR 62271:2012/AMD1:2018.

#### 4.1.4 High-voltage interval

During the high-voltage interval, the gap of the test circuit-breaker is stressed by the recovery voltage.

The prospective TRV shall comply with the requirements of 7.105.5 of IEC 62271-100:2021.

Suitable methods for determining the prospective TRV in synthetic test circuits can be selected from Annex E of IEC 62271-100:2021.

The impedance of the voltage circuit shall be low enough to give clear evidence of breakdown, if any.

If the test circuit-breaker is fitted with opening resistors, a special procedure can be used (see Annex J).

If the TRV is obtained from more than one source, the overall waveshape should not show any appreciable discontinuity.

In principle, the power-frequency recovery voltage for the basic short-circuit test duties should preferably be AC and shall equate with the requirements of 7.103.4 of IEC 62271-100:2021. In synthetic testing, the recovery voltage is supplied from a voltage circuit, either directly or in series with the current circuit. This gives an AC voltage, or a combined AC and DC voltage, or a DC voltage, which in most cases decays due to the limited energy of the voltage circuit. It may thus not be possible to maintain the recovery voltage for at least 0,3 s as specified in 7.103.4 of IEC 62271-100:2021. Deviations from the specified recovery voltage are acceptable if the following conditions are met.

- The initial value of the power-frequency recovery voltage, excluding the transient oscillations, shall be not less than the equivalent initial value of the power-frequency recovery voltage specified in 7.103.4 of IEC 62271-100:2021 which, for a test with symmetrical current, starts with a minimum peak value of

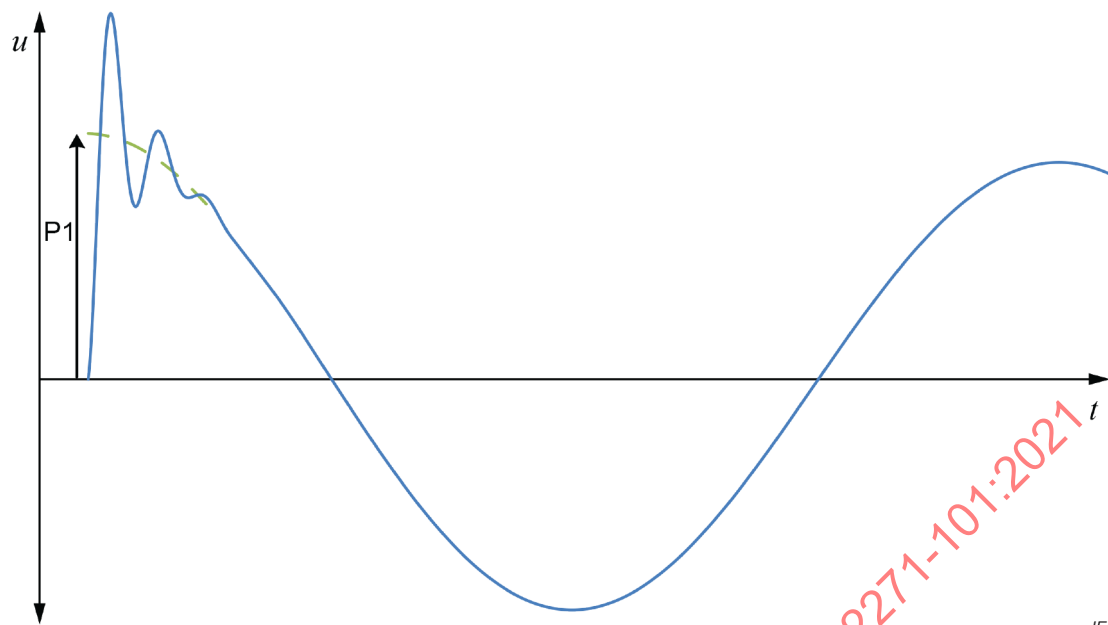
$$0,95 \times k_{pp} \times U_r \sqrt{2/3}$$

where

$k_{pp}$  is the first-pole-to-clear factor,

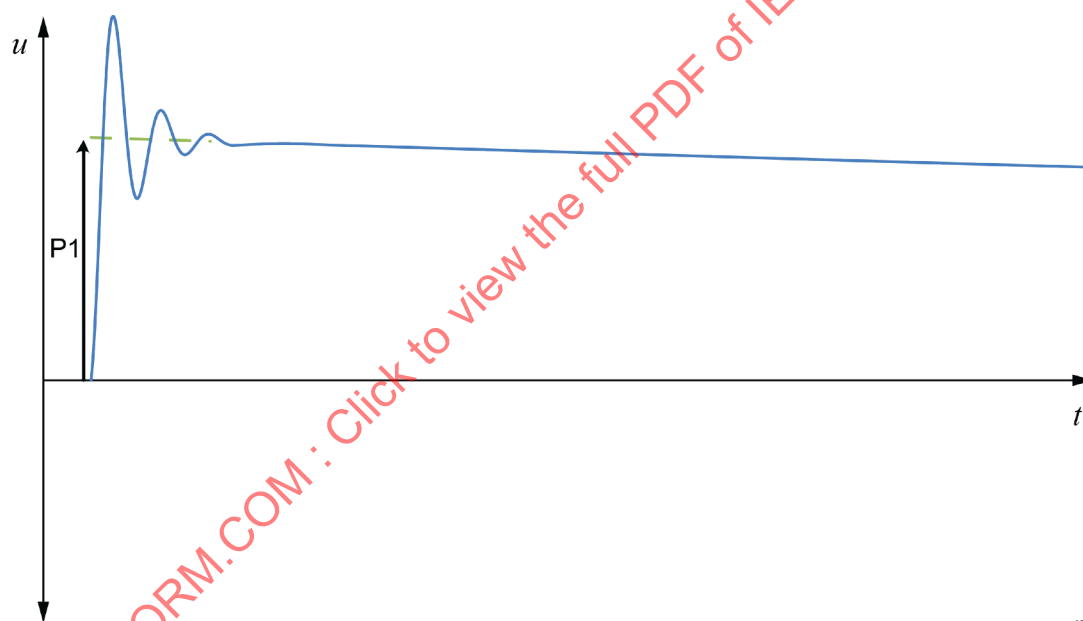
$U_r$  is the rated voltage of the circuit-breaker.

- Whether an exponentially decaying DC, an AC or a combined AC and DC recovery voltage is used, its instantaneous value (for DC) or its peak value (for AC or combined AC and DC) should in principle be kept as close as possible to  $U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$  and in any case shall not fall below  $0,5 U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$  in less than 0,1 s.
- If an exponentially decaying DC or a combined AC and DC recovery voltage imposes an inappropriate stress on the circuit-breaker compared to that due to the specified AC recovery voltage in reference system conditions, then a more appropriate circuit can be used taking into account 7.103.4 of IEC 62271-100:2021 and also the limits stated above.
- Figure 2 a) and b) gives some examples for evaluation of the recovery voltage.



IEC

a) Example of a power-frequency recovery voltage



IEC

b) Example of a DC steady state recovery voltage

**Key**

|                   |                                                                                                                                                    |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P1                | Point of initial value of (power-frequency or DC steady-state) recovery voltage,<br>$\geq 0,95 \times k_{pp} \times U_r \times \sqrt{\frac{2}{3}}$ |
| Blue line         | Tested recovery voltage                                                                                                                            |
| Green dotted line | Tested power-frequency or DC steady-state recovery voltage                                                                                         |

**Figure 2 – Examples of evaluation of initial recovery voltage**

## 4.2 Synthetic test circuits and related specific requirements for breaking tests

### 4.2.1 Current injection methods

These methods can be described in terms of general principles as follows (see IEC TR 62271-306):

- the current from the voltage circuit is superimposed on the power-frequency current through the test circuit-breaker prior to the interaction interval;
- the auxiliary circuit-breaker interrupts the power-frequency current from the current circuit prior to the interaction interval.

Current injection method is mandatory for:

- short-line fault test duties;
- T100s and T100a when tested with ITRV.

Due to the lower limit of the injected current frequency of 250 Hz, it might be impossible to prepare test circuits with low RRRV (e.g. for unit test) and/or long time to peak (e.g. for high rated voltage). In this case, when current injection method is mandatory, the test can be performed using the multi-part testing method (see 7.102.4.3). The first part of the test (current zero and initial portion of TRV) shall be performed with a current injection method and the second part of the test (second part of the TRV and the RV) can be performed with a voltage injection method. For short-line fault test, it is also possible to perform the test with a test supply of limited power, as per 7.109.5 of IEC 62271-100:2021.

The time during which the arc is fed only by the injected current shall be treated as part of the length of the last loop prior to interruption.

If any device with breaking capability interrupts the current through the test circuit-breaker at the same time as the test circuit-breaker, the method is not a valid current injection method.

During the interaction interval, the test circuit-breaker is exposed to the voltage of the voltage circuit having an impedance which is representative of the reference system conditions. This explains the validity of current injection methods. Several current injection methods are known but only the conditions for parallel current injection are given below since this method is used by the majority of the test laboratories. The following conditions shall be met.

#### a) TRV waveshape circuit

- 1) The shape and magnitude of the prospective TRV shall comply with the specified values.
- 2) Ideally the equivalent surge impedance  $Z_h$  (see Figure 3) shall be equal to  $(du/dt)/(di/dt)$  during the interaction interval.  $du/dt$  is the rate of rise of the specified transient recovery voltage and  $di/dt$  is the rate of decrease of the specified short-circuit current.
- 3) The combination of the stray and lumped capacitance  $C_{dh}$  in parallel with  $Z_h$  gives rise to the delay time  $t_d = Z_h \times C_{dh}$ .

#### b) Inductance of the voltage circuit

The value of the inductance of the voltage circuit shall be between 1,0 and 1,5 times the inductance derived from the equivalent power-frequency voltage divided by the prospective current.

#### c) Frequency of the injected current and the injection timing

The frequency of the injected current shall preferably be of the order of 500 Hz with a lower limit of 250 Hz and an upper limit of 1 000 Hz.

In order to prevent undue influence on the waveshape of the power-frequency current, the lower limit of the frequency of the injected current is 250 Hz.

The maximum frequency of the injected current is determined by the interval of significant change of arc voltage, the interval for which shall be smaller than the time for which the arc is fed only by the injected current. To achieve this, the period of the injected frequency should be at least four times the interval of significant change of arc voltage (see IEC TR 62271-306).

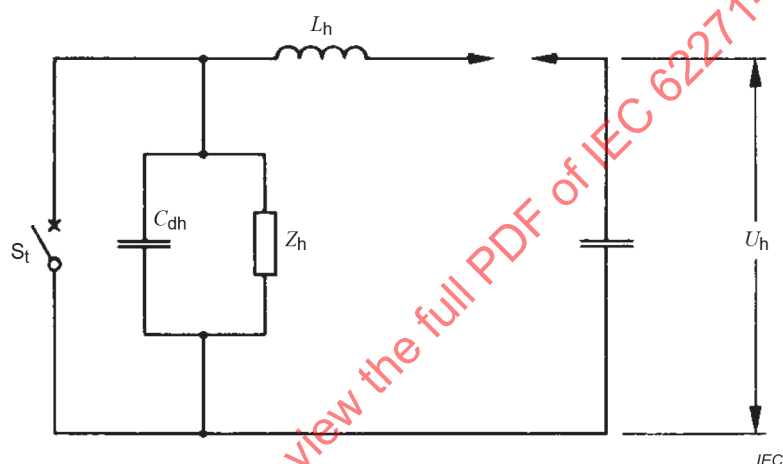
The initiation of the injected current shall be adjusted such that the time during which the test circuit-breaker is fed only by the injected current is not more than a quarter of the period of the injected current frequency with a maximum of 500  $\mu\text{s}$ .

Attention should be paid to the possible overstressing of the circuit-breaker if the time that the test circuit-breaker is fed by the injected current only is less than 200  $\mu\text{s}$ .

d) Waveshape of the injected current

The prospective rate of decrease ( $di/dt$ ) of the injected current at current zero shall correspond to that of the prospective power-frequency current.

The injected current shall be practically free of superimposed oscillations for a time not less than 100  $\mu\text{s}$  before current zero.



**Key**

- $U_h$  charging voltage of voltage circuit
- $L_h$  inductance of voltage circuit
- $Z_h$  equivalent surge impedance
- $C_{dh}$  capacitance for time delay of voltage circuit
- $S_t$  test circuit-breaker

**Figure 3 – Equivalent surge impedance of the voltage circuit for the current injection method**

#### 4.2.2 Voltage injection method

Several voltage injection methods are known but only series voltage injection is described here in general terms as follows (see IEC TR 62271-306):

- the voltage from the voltage circuit is applied to the test circuit-breaker after the interaction interval;
- a capacitor in parallel with the auxiliary circuit-breaker is used to apply the recovery voltage to the test circuit-breaker;
- during the high-current and interaction intervals, the test circuit-breaker is exposed to the current circuit only.

When used for tests relating to the dielectric behaviour of the circuit-breaker, the following conditions shall be met.

- The voltage circuit shall be designed in such a manner as to allow detection of re-ignitions or re-strikes, should they occur.

Therefore, the capacitance across the auxiliary circuit-breaker shall be at least 20 times the capacitance in parallel with the test circuit-breaker. Care should be taken to avoid undue distortion of the current before power-frequency current zero.

- No pause shall be introduced by the combining of the current circuit and the voltage circuit.

#### 4.2.3 Duplicate circuit method (transformer or Skeats circuit)

This method can be described in terms of general principles as follows (see IEC TR 62271-306):

- the current and voltage are supplied from the same circuit;
- the AC recovery voltage is supplied from a step-up transformer, the primary of which is connected to the current circuit;
- the recovery voltage is applied to the test circuit-breaker through an impedance (normally a resistance).

The auxiliary circuit-breaker interrupts the current prior to the test circuit-breaker by a short time interval. During this short interval, the value of  $di/dt$  of the current in the test circuit-breaker is decreased.

The Skeats circuit can easily be adapted to supply full voltage stresses in two (or more) operations, for example at both closing and opening in a CO operation, at both openings in an O – t – CO operation or even at consecutive current zeros in an opening operation. See 14.3 of IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018.

#### 4.2.4 Other synthetic test methods

Other methods may proven to be correct and advantageous for testing of circuit-breakers with specific characteristics or for testing of a circuit-breaker for specific performance. Even though these methods are not covered by this document, they can be used subject to understanding of their application and agreement between the manufacturer and the user.

### 4.3 Three-phase synthetic test methods

Three-phase synthetic test methods shall be applied for testing of circuit-breakers which cannot be tested single-phase as per 7.102.4.1 of IEC 62271-100:2021. They can also be used as an alternative to single phase synthetic tests if relevant. Short-circuit test sequences T10, T30 and T60 can in any case be performed in single-phase test circuits.

Annex F gives examples of three-phase test circuits.

To ensure that the appropriate stresses in the interrupting element and those between poles and, if relevant, to the enclosure are applied, the following general requirements shall be fulfilled:

- full three-phase current shall be supplied to the three-pole circuit-breaker under test;
- information about the required test circuits for test duties T100s and T100a is given in Table 2;
- the test parameters for each pole-to-clear are given in Table 3 through Table 5;
- all the above stresses preferably should be applied in the same test; if this is impossible, a multi-part testing procedure should be used;
- to avoid changing the connection of the high-voltage circuit to the circuit-breaker between the tests of each test sequence, the first-pole-to-clear is allowed to be kept in the same phase during the whole sequence, taking into account the requirements of 7.104.1 of IEC 62271-100:2021.

**Table 2 – Test circuits for test duties T100s and T100a**

|                  | T100s                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                       | T100a                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $k_{pp}$         | First-pole-to-clear                                                                                                           | Other poles                                                                                                                                                                                                           | First-pole-to-clear                                                                                                           | Other poles                                                                                                                                                                                                                                         |
| 1,5              | Application of synthetic circuits of 4.2.1 or 4.2.2 at all operations                                                         | Application of synthetic circuits of 4.2.1, 4.2.2 or 4.2.3 at all operations                                                                                                                                          | Application of synthetic circuits of 4.2.1 or 4.2.2 for at least two operations. The third operation can be tested with 4.2.3 | Application of synthetic circuit 4.2.1 or 4.2.2 at least to the operation with major extended loop and longest arcing time                                                                                                                          |
| 1,2<br>or<br>1,3 | Application of synthetic circuits of 4.2.1 or 4.2.2 for at least two operations. The third operation can be tested with 4.2.3 | Application of synthetic circuits of 4.2.1 through 4.2.3 at all operations.<br><br>At the second pole-to-clear at the operation with the longest arcing time application of synthetic circuits of 4.2.1 or 4.2.2 only | Application of synthetic circuits of 4.2.1 or 4.2.2 for at least two operations. The third operation can be tested with 4.2.3 | Application of synthetic circuits of 4.2.1 through 4.2.3 at all other operations.<br><br>At the second pole-to-clear at the operation with the major extended loop and longest arcing time application of synthetic circuits of 4.2.1 or 4.2.2 only |

**Key**

$k_{pp}$  first-pole-to-clear factor.

Voltage injection is only permitted if there are no ITRV requirements, or if these requirements are covered by SLF testing.

**Table 3 – Test parameters during three-phase interruption for test-duties T10, T30, T60 and T100s,  $k_{pp} = 1,5$**

| TRV peak in %  |       |                                   |                                              | Recovery voltage peak<br><br>p.u. | du/dt<br><br>% | di/dt<br><br>% | Phase angle<br><br>° |
|----------------|-------|-----------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------------|
|                |       | At instant of first-pole-to-clear | At instant of second and third-pole-to-clear |                                   |                |                |                      |
| Phases         | A     | 100                               | -                                            | 1                                 | 100            | 100            | -                    |
|                | B     | 0                                 | 58                                           | 1                                 | 70             | 87             | 90                   |
|                | C     | 0                                 | 58                                           | 1                                 | 70             | 87             | 90                   |
| Between phases | A – B | 100                               | 58                                           | 1,732                             |                |                |                      |
|                | B – C | 0                                 | 115                                          | 1,732                             |                |                |                      |
|                | A – C | 100                               | 58                                           | 1,732                             |                |                |                      |

TRV peak first pole-to-clear:  $u_c = k_{af} \times k_{pp} \times U_r \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$  (= 100 %).

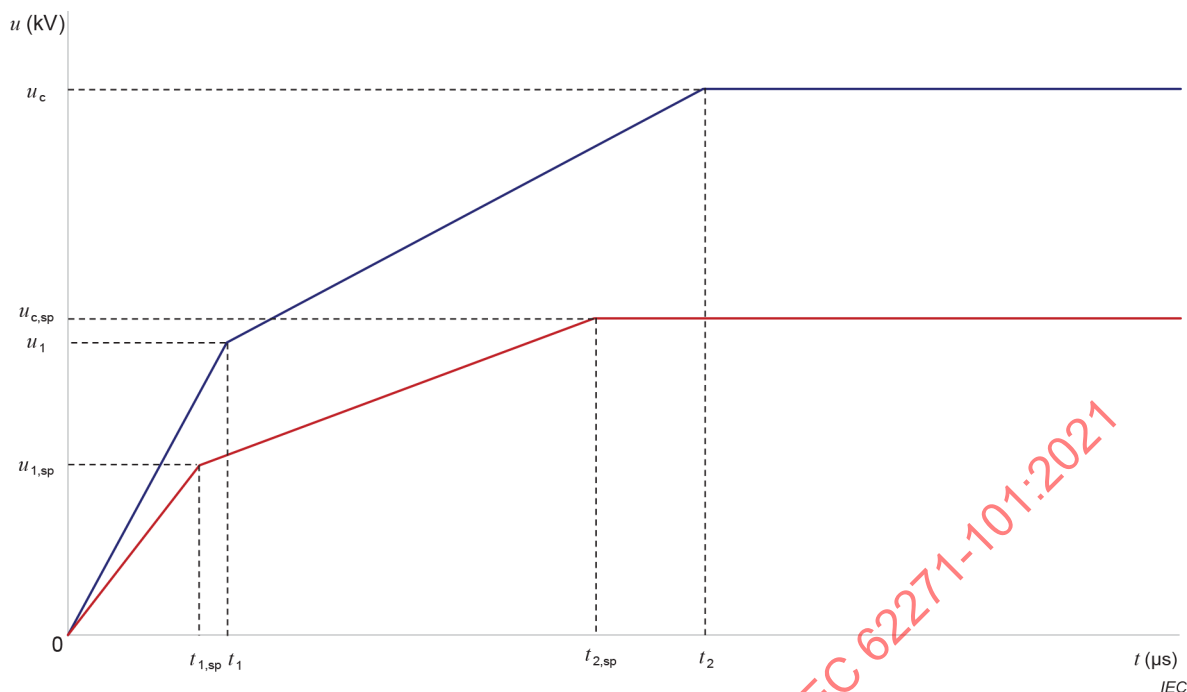
1 p.u. =  $U_r \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$ .

The first-pole-to-clear is in phase A.

Test parameters are calculated based on earthing arrangements in circuits as described in IEC TR 62271-306.

TRV phases B and C for 4 parameters (see Figure 4):

- $u_1$  the first reference voltage is derived by applying the same reduction factor used for the TRV peak  $u_c$ .
- $t_1$  is derived from  $u_1$  and the respective du/dt reduction factor.
- $t_2$  is derived from  $t_1$  keeping the same ratio as for the first pole-to-clear.

**Key**

Blue line: first pole-to-clear

Red line: second and third pole-to-clear

**Figure 4 – Reference lines of TRV with four-parameter for  $k_{pp} = 1,5$** **Table 4 – Test parameters during three-phase interruption for test-duties T10, T30, T60 and T100s,  $k_{pp} = 1,3$** 

| TRV peak in %  |       |                                   |                                              | Recovery voltage peak<br>p.u. | $du/dt$<br>% | $di/dt$<br>% | Phase angle<br>° |
|----------------|-------|-----------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|------------------|
|                |       | At instant of first-pole-to-clear | At instant of second and third-pole-to-clear |                               |              |              |                  |
| Phases         | A     | 100                               | - / -                                        | 1                             | 100          | 100          | -                |
|                | B     | 0                                 | - / 77                                       | 1                             | 70           | 57           | 120              |
|                | C     | 0                                 | 97 / -                                       | 1                             | 95           | 89           | 77               |
| Between phases | A – B | 100                               | - / 91                                       | 1,732                         |              |              |                  |
|                | B – C | 0                                 | 97 / 97                                      | 1,732                         |              |              |                  |
|                | A – C | 100                               | 89 / -                                       | 1,732                         |              |              |                  |

TRV peak first pole-to-clear:  $u_c = k_{af} \times k_{pp} \times U_r \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$  (= 100 %)

1 p.u. =  $U_r \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$

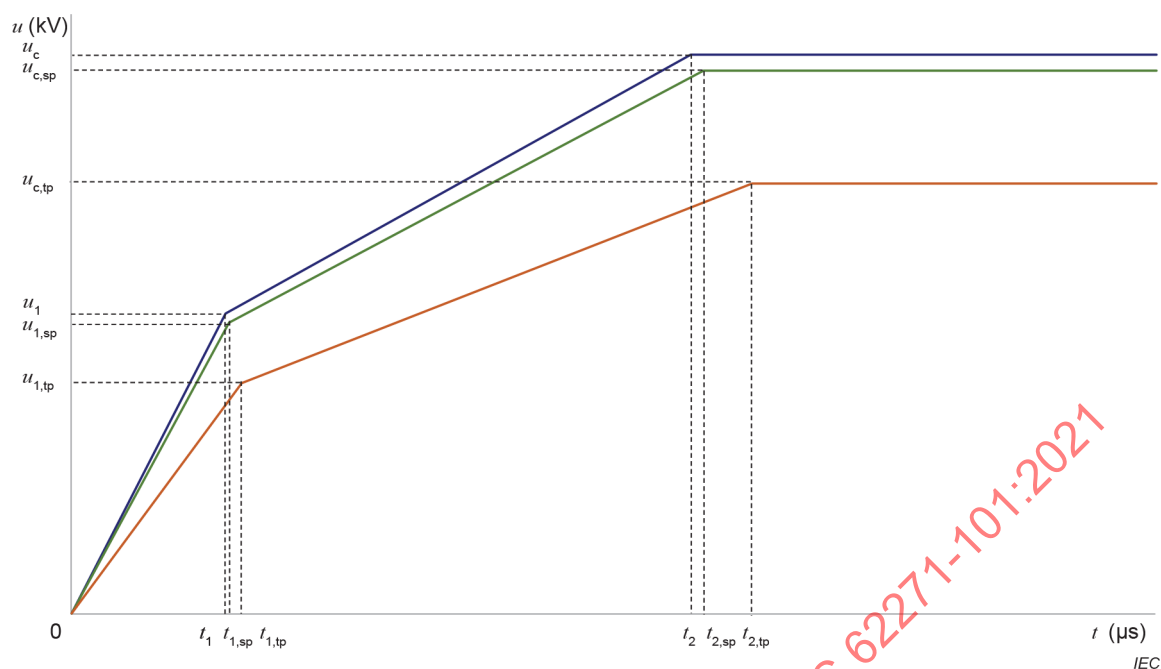
The first-pole-to-clear is in phase A.

The second pole-to-clear is in phase C.

Test parameters are calculated based on earthing arrangements in circuits as described in IEC TR 62271-306.

TRV phases B and C for 4 parameters (see Figure 5):

- $u_1$  the first reference voltage is derived by applying the same reduction factor used for the TRV peak  $u_c$ .
- $t_1$  is derived from  $u_1$  and the respective  $du/dt$  reduction factor.
- $t_2$  is derived from  $t_1$  keeping the same ratio as for the first pole-to-clear.

**Key**

Blue line: first pole-to-clear

Green line: second pole-to-clear

Red line: third pole-to-clear

**Figure 5 – Reference lines of TRV with four-parameter for  $k_{pp} = 1,3$** **Table 5 – Test parameters during three phase interruption for test-duties T10, T30, T60 and T100s,  $k_{pp} = 1,2$** 

| TRV peak in %  |       |                                    |                                               | Recovery voltage peak<br>p.u. | $du/dt$<br>% | $di/dt$<br>% | Phase angle<br>° |
|----------------|-------|------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|------------------|
|                |       | At instance of first-pole-to-clear | At instance of second and third-pole-to-clear |                               |              |              |                  |
| Phases         | A     | 100                                | - / -                                         | 1                             | 100          | 100          | -                |
|                | B     | 0                                  | - / 83                                        | 1                             | 83           | 75           | 120              |
|                | C     | 0                                  | 95 / -                                        | 1                             | 95           | 92           | 71               |
| Between phases | A – B | 100                                | - / 124                                       | 1,732                         |              |              |                  |
|                | B – C | 0                                  | 95 / 126                                      | 1,732                         |              |              |                  |
|                | A – C | 100                                | 105 / -                                       | 1,732                         |              |              |                  |

TRV peak first pole:  $u_c = k_{af} \times k_{pp} \times U_r \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$

1 p.u. =  $U_r \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$

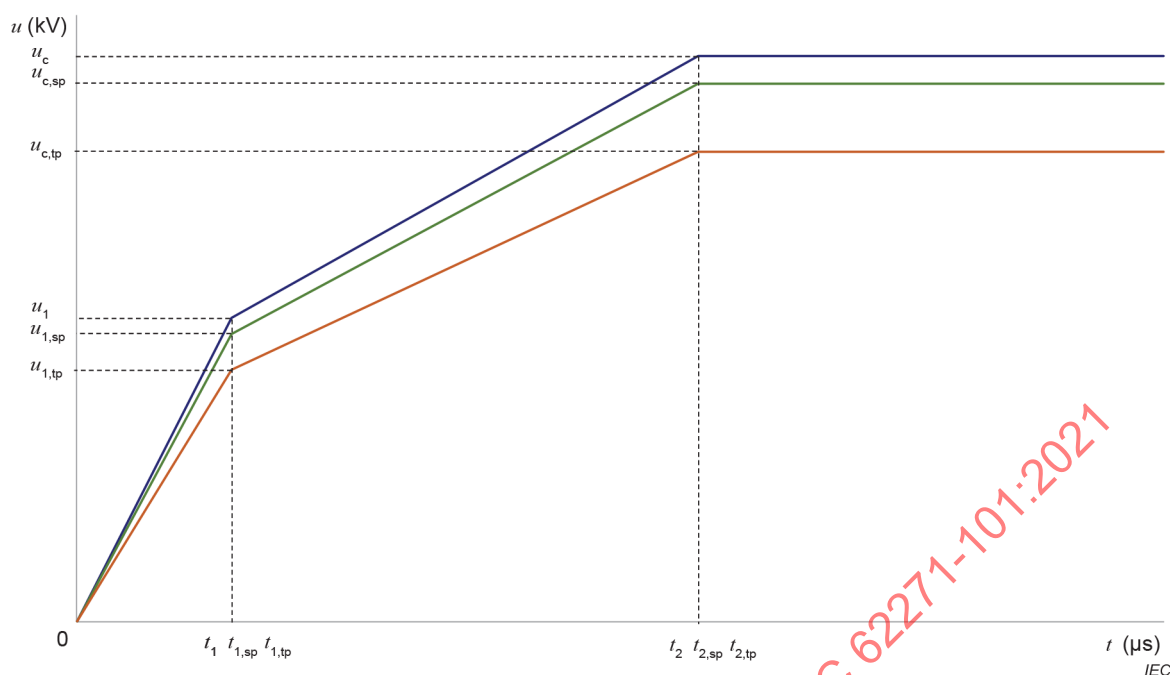
The first-pole-to-clear is in phase A.

The second pole-to-clear is in phase C.

Test parameters are calculated based on earthing arrangements in circuits as described in IEC TR 62271-306.

TRV phases B and C for 4 parameters (see Figure 6):

- $u_1$  the first reference voltage is derived by applying the same reduction factor used for the TRV peak  $u_c$ .
- $t_1$  is derived from  $u_1$  and the respective  $du/dt$  reduction factor.
- $t_2$  is derived from  $t_1$  keeping the same ratio as for the first pole-to-clear.



#### Key

Blue line: first pole-to-clear  
Green line: second pole-to-clear  
Red line: third pole-to-clear

**Figure 6 – Reference lines of TRV with four-parameter for  $k_{pp} = 1,2$**

## 5 Synthetic testing techniques and methods for short-circuit making tests

### 5.1 Basic principles and general requirements for synthetic making test methods

#### 5.1.1 General

During a closing operation onto a short-circuit, the circuit-breaker contact gap is subjected to the applied voltage as per 7.105.1 of IEC 62271-100:2021. After the moment of breakdown, the circuit-breaker is subjected to the making current as per 7.105.2.1 of IEC 62271-100:2021. In a synthetic test circuit, the applied voltage is supplied by a separate voltage circuit and the short-circuit current is supplied by a current circuit at reduced voltage. This latter is connected to the circuit-breaker immediately after breakdown of the contact gap by means of a fast making device, for example a triggered spark gap.

Any particular synthetic method chosen for testing shall adequately stress the test circuit-breaker. Generally the adequacy is established when the test method meets the requirements set forth in the following paragraphs and subclauses 5.1 and 5.2.

Prior to making, a circuit-breaker withstands the rated phase-to-earth voltage applied across its terminals: during making, it carries the rated short-circuit current. If closer attention is paid to the voltage and current stresses during the making test (see Figure 7 a) and b)), three main intervals can be recognized.

#### – High-voltage interval

The high-voltage interval is the time from the commencement of the test, with the circuit-breaker in the open position, to the moment of breakdown across the contact gap.

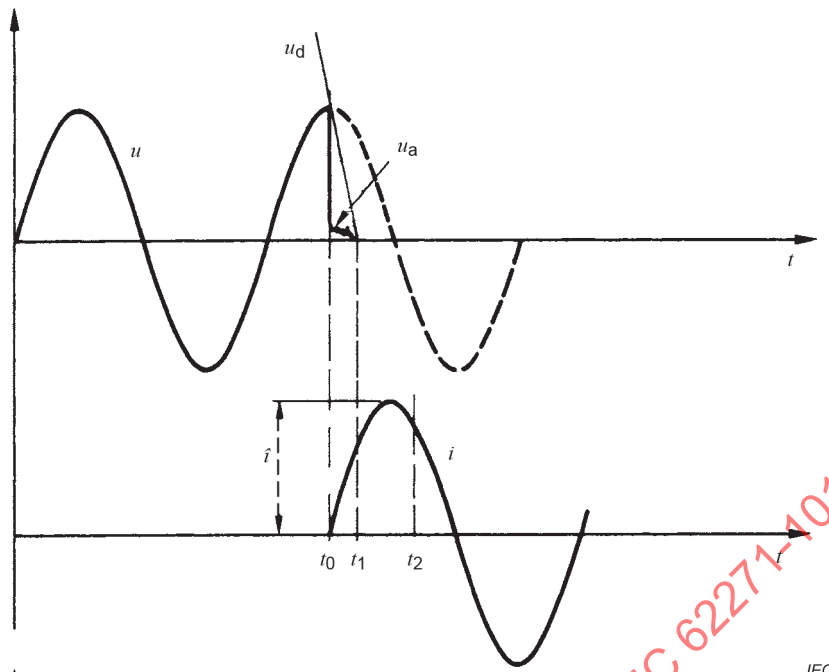
- Pre-arcing interval

The pre-arcing interval is the time, during the closing stroke of the circuit-breaker, from the moment of breakdown across the contact gap to the touching of the contacts.

- Latching interval

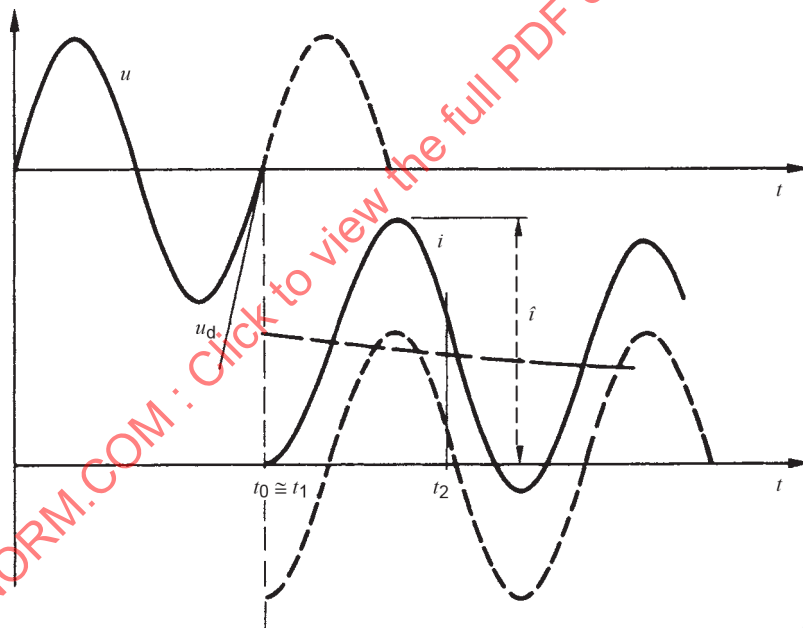
The latching interval is the time, during the closing stroke of the circuit-breaker, from the touching of the contacts to the moment when the contacts reach the fully closed (latched) position.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-101:2021



IEC

a) Symmetrical making current



IEC

b) Asymmetrical making current

**Key**

|           |                         |       |                                           |
|-----------|-------------------------|-------|-------------------------------------------|
| $i$       | current                 | $u_a$ | arc voltage                               |
| $\hat{i}$ | making current peak     | $t_0$ | instant of pre-strike                     |
| $u$       | power-frequency voltage | $t_1$ | instant of contact touch                  |
| $u_d$     | RDDS                    | $t_2$ | instant of reaching fully closed position |

**Figure 7 – Making process – Basic time intervals**

### 5.1.2 High-voltage interval

During this interval, the circuit-breaker shall be stressed by the test circuit in such a way that the starting conditions for the pre-arcing interval, within the tolerances to be specified, are the same as the following reference system conditions. The applied voltage shall comply with the requirement set forth in 7.105.1 of IEC 62271-100:2021.

### 5.1.3 Pre-arcing interval

During pre-arcing, the circuit-breaker is subjected to electrodynamic forces due to the current and to deteriorating effects due to arc-energy. The current is composed of three components:

- the initial transient making current (ITMC);
- the DC and AC components of the short-circuit current.

Two typical cases can occur depending on the moment of closing:

- breakdown occurs near the crest of the applied voltage establishing an almost symmetrical current; pre-arc energy and ITMC are relatively high;
- breakdown occurs near zero of the applied voltage establishing an asymmetrical current; pre-arc energy and ITMC are negligible.

### 5.1.4 Latching interval and fully closed position

During these intervals, the circuit-breaker shall close in presence of the electrodynamic forces due to the current and contact friction forces. Therefore, during these intervals, the making current shall comply with 5.103 of IEC 62271-100:2021.

## 5.2 Synthetic test circuit and related specific requirements for making tests

### 5.2.1 General

Three-phase short-circuit making test can be performed with any one of the test circuits to cover applications in  $k_{pp} = 1,5$ ,  $k_{pp} = 1,3$ ,  $k_{pp} = 1,2$  or  $k_{pp} = 1,0$ .

The synthetic test procedure is applied to comply with requirement a) of 7.105.2.1 of IEC 62271-100:2021.

### 5.2.2 Test circuit and test requirements

The test circuit is made up with two circuits, namely the current and the voltage circuit. Examples of circuits showing voltage and current wave shapes are given in Figure 8 and Figure 9 for single-phase and Figure 10 for three-phase:

- the voltage circuit supplies:
  - the applied voltage during the high-voltage interval,
  - the ITMC during the pre-arcing interval, by the discharge of the ITMC-circuit;
- the current circuit supplies the making current during the pre-arcing and latching intervals.

The high-voltage circuit can be an AC circuit, a DC circuit or a combination of both.

The injected current supplied by the voltage circuit shall ensure pre-arcing until the breakdown of the fast make gap. Therefore, the time constant of the ITMC circuit shall be long enough to ensure current flow during the time delay of the making device.

For the making operation of T100s set forth under point a) of 7.105.2.1 of IEC 62271-100:2021, the following conditions shall be fulfilled:

- the instantaneous value of the applied voltage at initiation of pre-arc for the first phase-to-make is not less than 97 % of the requirements of 7.105.1 of IEC 62271-100:2021;
- the time delay of the making device ( $t_m$ ) is shorter than 300  $\mu$ s;
- the actual peak current of the 1<sup>st</sup> loop is not less than 0,74 p.u and no more than 1,26 p.u., where the peak current of 1,0 p.u. is the peak value of the symmetrical rated short-circuit breaking current;

NOTE 1 A test where an earlier current inception between  $-15^\circ$  and  $-30^\circ$  is achieved, resulting in an actual current up to 1,5 p.u., is considered as more severe.

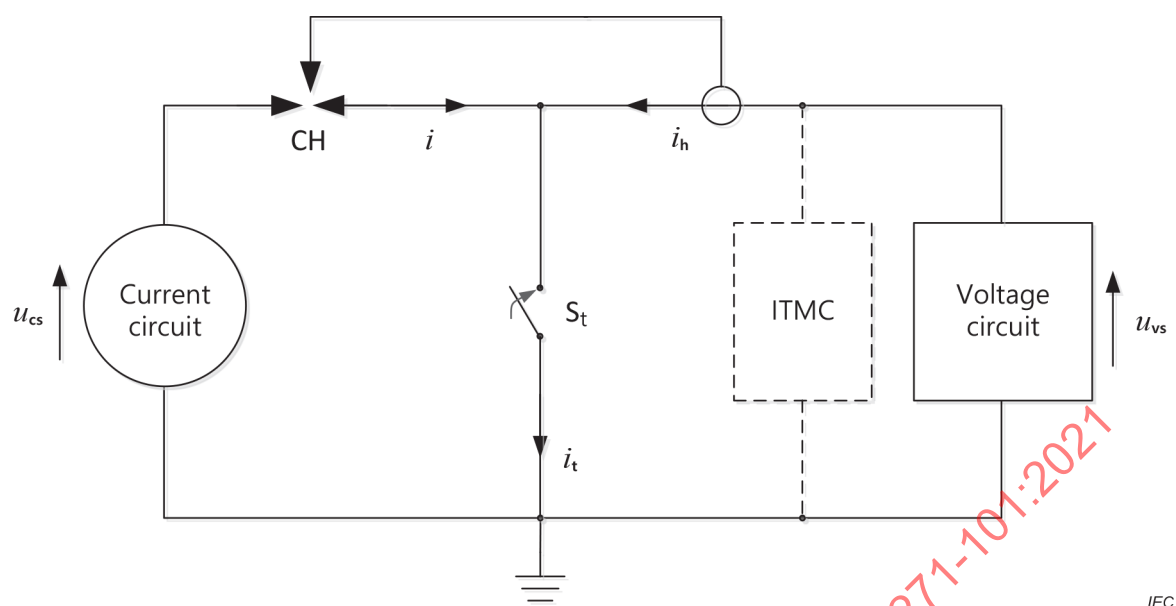
- the short-circuit current, when the test is performed as separate making operation, is maintained for an interval of at least 100 ms, as specified in 7.107.5.1 of IEC 62271-100:2021.

For the making operation of test-duty OP2, the following conditions shall be fulfilled:

- the instantaneous value of the applied voltage at initiation of pre-arc is not less than 92 % of the requirements of 7.110.3 of IEC 62271-100:2021;
- the time delay of the making device ( $t_m$ ) is shorter than 300  $\mu$ s;
- if the pre-arcing time is shorter than or equal to half a cycle of power frequency, no further requirements on the current are given provided that the RMS current is not less than 1 kA;
- if the pre-arcing time is longer than half a cycle of power frequency, the actual peak current of the 1<sup>st</sup> loop is not less than 0,74 p.u and no more than 1,26 p.u. The peak current of 1,0 p.u. is the peak value of the symmetrical rated out-of-phase breaking current;

NOTE 2 A test where an earlier current inception between  $-15^\circ$  and  $-30^\circ$  is achieved, resulting in an actual current up to 1,5 p.u., is considered as more severe.

- the out-of-phase making current, when the test is performed as separate making operation, is maintained for an interval of at least 100 ms.

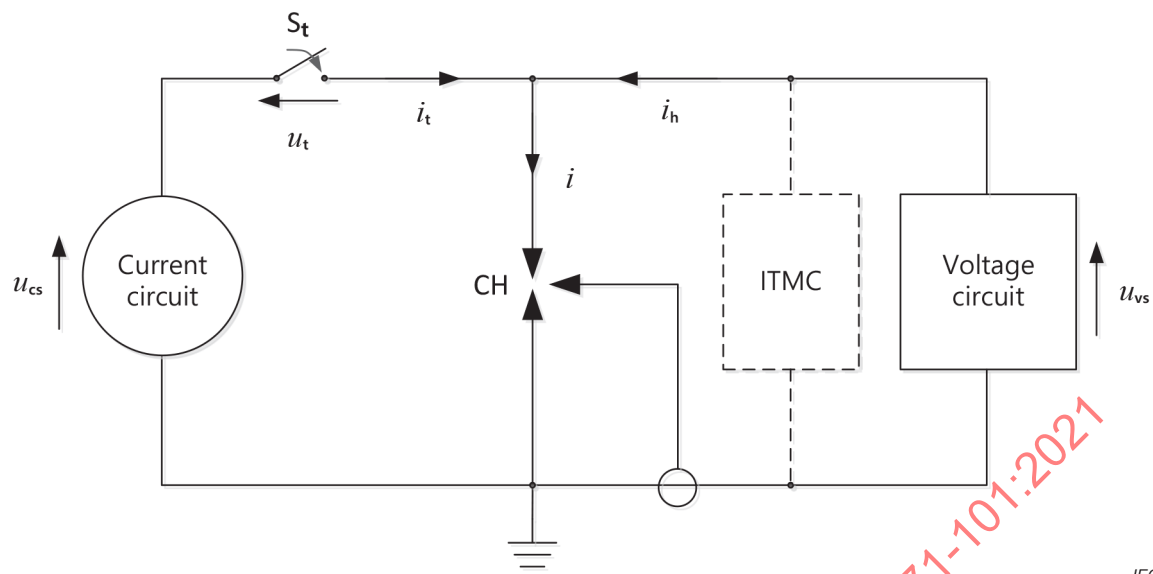


IEC

**Key**

|          |                                                     |          |                                         |
|----------|-----------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------|
| $u_{cs}$ | voltage of current circuit                          | $u_{vs}$ | voltage of voltage circuit              |
| CH       | making device (triggered spark gap)                 | $i_h$    | initial transient making current (ITMC) |
| $i$      | power-frequency current supplied by current circuit | $i_t$    | current in the test circuit-breaker     |
| $S_t$    | test circuit-breaker                                | $t_m$    | time delay of making device             |

**Figure 8 – Example of synthetic making circuit for single-phase tests**



IEC

# Key

$u_{cs}$  voltage of current circuit

CH making device (triggered spark gap)

$i$  power-frequency current supplied by current circuit

$S_t$  test circuit-breaker

$t_m$  time delay of making device

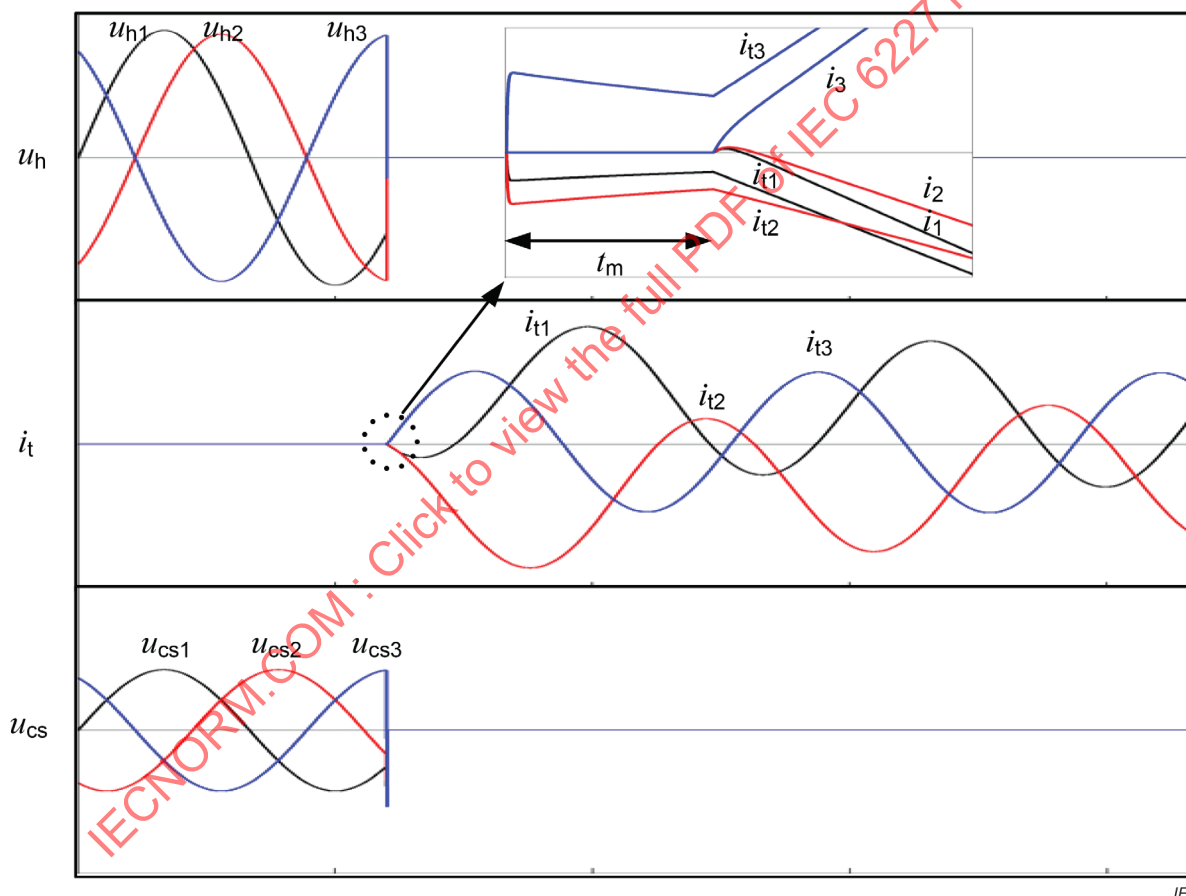
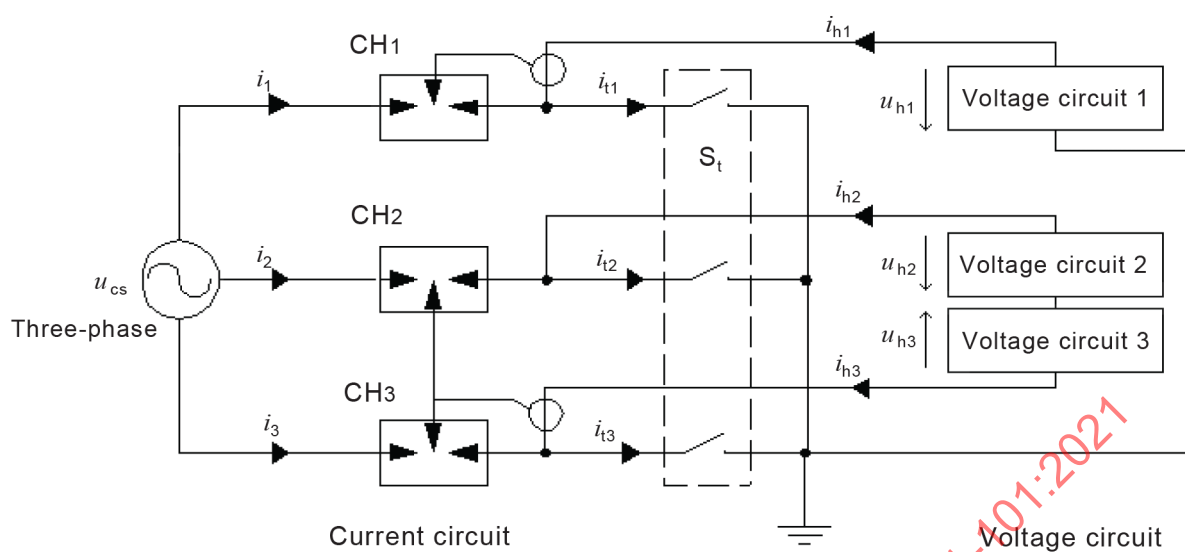
$u_{vs}$  voltage of voltage circuit

$i_h$  initial transient making current (ITMC)

$i_t$  current in the test circuit-breaker

$u_t$  test voltage across test circuit-breaker

**Figure 9 – Example of synthetic making circuit for out-of-phase tests**



IEC

**Key**

|                             |                                         |                                                     |                                     |
|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|
| $u_{cs1}, u_{cs2}, u_{cs3}$ | voltage of current circuit              | $u_{h1}, u_{h2}, u_{h3}$                            | applied voltage                     |
| $i_1, i_2, i_3$             | current supplied by the current circuit | CH <sub>1</sub> , CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> | making device (triggered spark gap) |
| $i_{t1}, i_{t2}, i_{t3}$    | current through the test object         | $S_t$                                               | test circuit-breaker                |
| $i_{h1}, i_{h2}, i_{h3}$    | initial transient making current (ITMC) | $t_m$                                               | time delay of making device         |

**Figure 10 – Example of synthetic making circuit for three-phase tests ( $k_{pp} = 1,5$ )**

### **5.2.3 Alternative test method with reduced voltage**

#### **5.2.3.1 General**

This alternative test method is permitted only with the consent of the manufacturer.

The test consists of two parts:

- part 1: a test at rated voltage and reduced current to determine the pre-arcing time;
- part 2: a test at reduced voltage and rated making current, with the required pre-arcing time.

#### **5.2.3.2 Part 1: determination of pre-arcing time**

##### **5.2.3.2.1 General**

The pre-arcing time shall be determined by performing making tests at rated voltage and reduced current. The arrangement of the circuit-breaker shall be as described in 7.105.1 of IEC 62271-100:2021. The current shall be low enough to avoid contact erosion.

##### **5.2.3.2.2 Single-phase tests**

In those cases where the circuit-breaker design permits single-pole testing, at least two making tests performed to evaluate the pre-arcing time shall result in a current initiation instant corresponding to an angle of  $-15^\circ$  to  $+15^\circ$  on the peak of the applied AC voltage wave-shape. The maximum pre-arcing time measured shall be used as pre-arcing time to be applied in part 2 (see 5.2.3.3).

##### **5.2.3.2.3 Three-phase tests**

In a three-phase circuit, for each phase, at least one making test performed to evaluate the pre-arcing time shall result in a current initiation instant corresponding to an angle of  $-15^\circ$  to  $+15^\circ$  on the peak of the applied AC voltage wave-shape. Pre-arcing time shall be measured in all three phases for each test.

The maximum pre-arcing times measured, corresponding to the test giving the longest pre-arcing time in each phase, shall be used as pre-arcing times to be applied in part 2 (see 5.2.3.3).

If a single-phase voltage circuit is used, the pre-arcing time shall be measured in all three-phases, with the assumption that the current initiation would have occur simultaneously in all three phases.

#### **5.2.3.3 Part 2: short-circuit current making test at reduced voltage**

During current making test with rated short-circuit making current at reduced voltage, the pre-arcing time shall be at least equal to the pre-arcing time determined in the tests as described in part 1 (see 5.2.3.2).

To obtain the required maximum pre-arcing time, the initiation of current can be achieved by a voltage of any wave form, high enough to initiate the pre-arcing at the correct point on the wave, with the required pre-arcing time determined in part 1.

Conditions required for a correct making operation remain applicable.

## 7 Type tests

### 7.102 General

Subclauses 7.102 through 7.112 of IEC 62271-100:2021 are also applicable for synthetic testing. However, in some cases, special techniques are necessary. These cases are outlined in the following paragraphs and subclauses 7.102 to 7.111. The numbering of the subclauses corresponds to that of IEC 62271-100:2021.

Requirements concerning testing of metal enclosed circuit-breakers are given in Annex G.

General requirements for circuit-breakers with opening resistors are given in Annex J of IEC 62271-100:2021. A method available for testing circuit-breakers having opening resistors is reported in Annex J.

The symbols and abbreviated terms given in Table 6 are used to specify the operations to be performed.

**Table 6 – Symbols and abbreviated terms used for operation during synthetic tests**

|                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cd                                                                                                                                                                                        | Closing operation in a direct circuit at the voltage of the current circuit which can be less than the voltage specified in 7.105.1 of IEC 62271-100:2021             |
| (Cd)                                                                                                                                                                                      | Closing operation as Cd, which can be carried out under no-load conditions                                                                                            |
| Cd <sub>asy</sub>                                                                                                                                                                         | Closing operation against the rated short-circuit making current according to 7.105.2 of IEC 62271-100:2021 in a direct circuit at conditions described under Cd      |
| Cs                                                                                                                                                                                        | Closing operation with specified parameters in a synthetic circuit                                                                                                    |
| Cs <sub>sym</sub>                                                                                                                                                                         | Closing operation against a symmetrical current equal to the rated short-circuit breaking current, carried out at the required applied voltage in a synthetic circuit |
| Od                                                                                                                                                                                        | Breaking operation at the voltage of the current circuit only and with the specified breaking current                                                                 |
| Os                                                                                                                                                                                        | Breaking operation with specified parameters in a synthetic circuit                                                                                                   |
| <i>t</i>                                                                                                                                                                                  | Time interval between operations (0,3 s or 3 min depending on rapid auto-reclosing or auto-reclosing rated operating sequence)                                        |
| <i>t'</i>                                                                                                                                                                                 | Time interval between operations (3 min)                                                                                                                              |
| SP                                                                                                                                                                                        | Single-phase test as defined in 7.108.2 of IEC 62271-100:2021                                                                                                         |
| DEF                                                                                                                                                                                       | Double-earth fault test as defined in 7.108.2 of IEC 62271-100:2021                                                                                                   |
| NOTE Due to the characteristics of synthetic testing, it can be difficult to comply with the specified time intervals of the rated operating sequence. See 7.106.1 of IEC 62271-100:2021. |                                                                                                                                                                       |

In order to comply with all the requirements, it may be necessary to make more operations than specified in the normal test-duty. In such cases the circuit-breaker can be reconditioned, and the test duty repeated.

#### 7.102.4.2 Unit testing

##### 7.102.4.2.1 General

7.102.4.2.1 of IEC 62271-100:2021 is applicable with the following addition.

In the case of metal-enclosed circuit-breakers, Annex G gives details of some examples of test circuits and Annex I of IEC 62271-100:2021 outlines appropriate testing guidelines.

Where the other unit is used as auxiliary circuit-breaker, this other unit is not considered to be a part of the test object. Therefore, a failure of this other unit shall not be considered as a failure of the test object.

#### **7.102.4.2.5 Additional requirements for unit testing**

7.102.4.2.5 of IEC 62271-100:2021 is applicable with the following addition.

For verifying insulation performance of metal enclosed circuit-breakers between live parts and enclosures, an additional test shall be performed with:

- the rated short-circuit current interrupted by all units under condition of maximum arcing time;
- the corresponding voltage applied between the incoming terminal and the tank for both duties T100s and T100a.

A single breaking operation is sufficient to demonstrate this performance. The circuit-breaker can be reconditioned before this additional test.

#### **7.102.4.3 Multi-part testing**

Opening operations of circuit-breakers with closing resistors require no special testing techniques since the closing resistor will not influence the test circuit.

The closing resistors can only be tested in a direct circuit that provides the correct current and voltage stresses from a single power source.

During the synthetic making tests, it is necessary to remove the closing resistor in order to obtain the correct short-circuit current stresses and pre-arcing conditions in the making and breaking unit.

If all the TRV and/or the recovery voltage requirements cannot be met simultaneously, multi-part testing can be used taking into account 7.102.4.3 of IEC 62271-100:2021.

When multi-part testing is performed to verify only the recovery voltage, it is not necessary to establish the minimum arcing time once again.

#### **7.102.7 Alternative operating mechanisms**

In case of a GIS circuit-breaker with three-poles in one enclosure, the tests shall be carried out in a three-phase test circuit with the TRV from synthetic circuits applied on all the three-phases. T100s test-duty, on the alternative operating mechanism, can be demonstrated by using methods defined in Annex D (three-phase currents with one synthetic circuit). The interaction between phases during interruption has already been demonstrated during the T100s on the completely tested circuit-breaker. Test methods as per Annex D adequately verifies the circuit-breaker's capability to perform the test-sequence with currents in all three-phases, correct arcing times and TRVs corresponding to various poles-to-clear.

### **7.104 Demonstration of arcing times**

#### **7.104.1 General**

The basic requirements to be met are given in 7.104 of IEC 62271-100:2021.

In order to be able to perform synthetic tests on the same basis as direct tests, normally it will be necessary to apply special re-ignition methods to prolong the arcing of the test circuit-breaker through the necessary number of zeros of the power-frequency current. See Annex H for re-ignition methods to prolong arcing.

The "step-by-step" method described in Annex H is the method used on most synthetic tests. The method is considered to be a sufficiently close approximation of the direct testing procedure.

The arcing is prolonged by means of thermal re-ignitions. As this method makes it possible to force the test circuit-breaker to re-ignite in all conditions, special care shall be taken not to re-ignite the circuit-breaker at the instant of a current zero when the circuit-breaker can clear. For this purpose, it is necessary to determine, for each terminal fault, short-line fault and out-of-phase test duty, the minimum arcing time of the circuit-breaker. At least two breaking tests, one clearance and one re-ignition, are necessary for this determination.

The clearance at the minimum arcing time is the first valid breaking operation. The other test is performed to demonstrate that a re-ignition at an early current zero would take place between the arcing contacts. This re-ignition test shall be performed in addition to the test sequence as described in Table 7 and shall not be the last test in the test-duty.

The extra tests necessary to demonstrate correct behaviour at early current zeros will usually contribute insignificantly to contact wear, etc., due to the short arcing times. Therefore, no re-conditioning should be necessary because of these tests. The re-ignition(s) obtained when determining the minimum arcing time do(es) not indicate a failure of the circuit-breaker. However, it is important to establish that this re-ignition has taken place between the arcing contacts only. When using a current injection method, the interruption of the injected current a few loops after the re-ignition is often a useful means for the judgement. Thorough inspection of screens, arcing and main contacts, etc., should also be made to verify correct behaviour.

The preferred order to verify the correct reignition behaviour is at the beginning of the test sequence when searching for the minimum arcing time. If, for any reason this test is not done at the beginning of a test sequence, it can be accepted provided that at least one operation has resulted in a clearance after this test. This is to provide evidence that the reignition did not damage any part of the circuit-breaker.

When performing Od-*t*-COs operations, the first opening operation is performed in a direct test circuit. This first opening operation shall represent the minimum arcing time found for single opening operations. In case the arcing time of this first opening operation is longer than required, the test is more severe. For Od operations, a tolerance of  $\pm 2$  ms on the arcing time applies.

The minimum clearing time for test-duty T100a is validated by the minimum arcing time of an interruption after a major loop with intermediate asymmetry.

#### **7.104.2 Three-phase tests**

Depending on the test circuit used, the test procedures given here may not cover the conditions of the 3<sup>rd</sup> pole-to-clear for  $k_{pp} = 1,3$ . For this case the same procedures can be applied, with the manufacturer's consent, by combining the TRV and  $di/dt$  parameters for the 2<sup>nd</sup> pole-to-clear and the arcing time corresponding to the 3<sup>rd</sup> pole-to-clear. Alternatively, an additional test can be performed with the TRV,  $di/dt$  and the maximum arcing time corresponding to the 3<sup>rd</sup> pole-to-clear.

For alternative testing procedures of multi-enclosure type circuit-breakers with operating mechanism characteristics that require three-phase current, see Annex D.

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

The test procedure is as follows.

For convenience of testing, the pole in phase A is kept as the first-pole-to-clear.

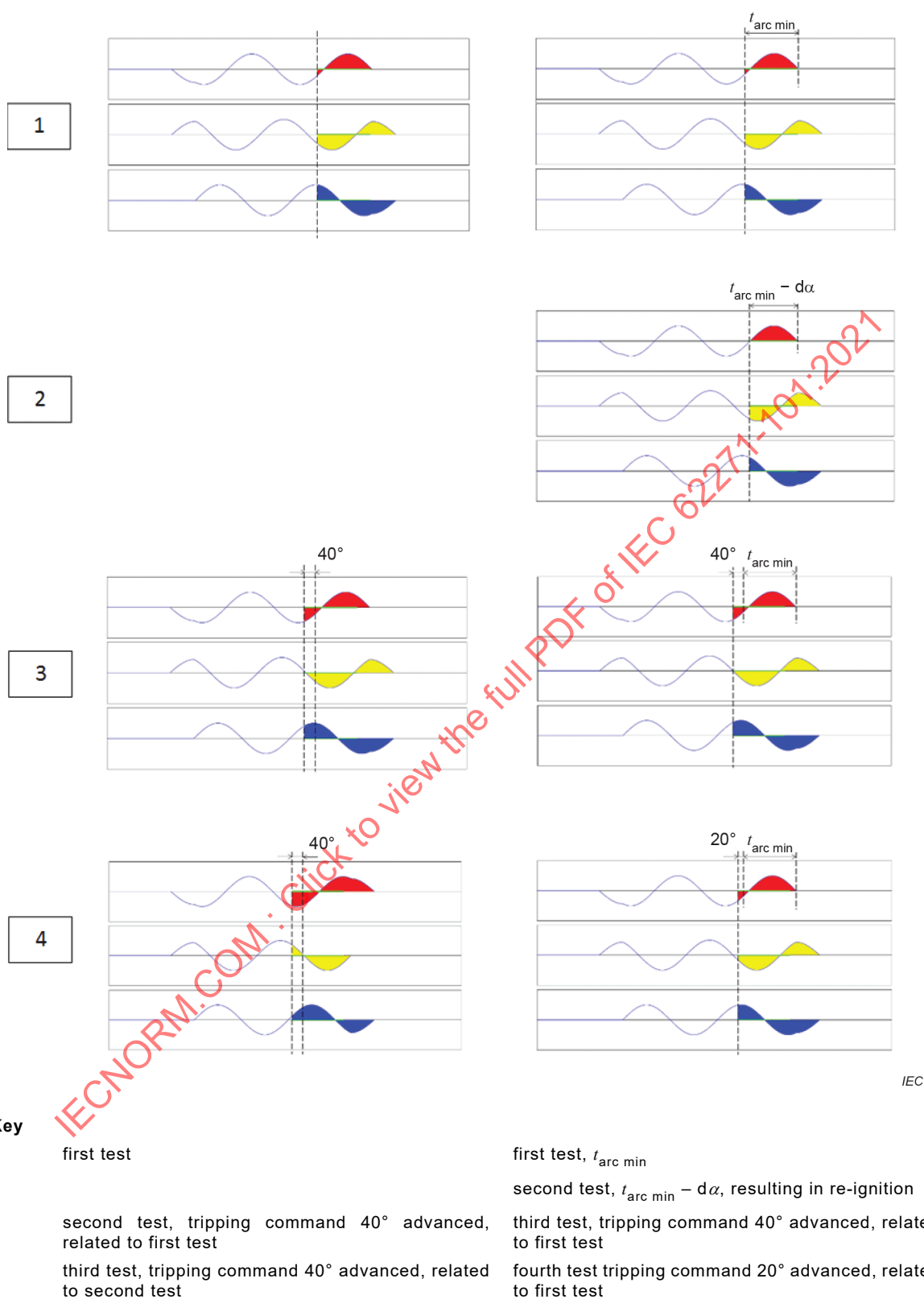
First the minimum arcing time and correct re-ignition behaviour are established. This is done by changing the setting of the tripping command in steps of  $18^\circ$  (possibly this shall be repeated several times). After having done so, the setting of the control of the tripping command shall be advanced by approximately  $40^\circ$ , starting from the shortest arcing time at which the circuit-breaker cleared. For the last test, the setting of the control of the tripping command shall be advanced by approximately  $20^\circ$ , starting from the shortest arcing time at which the circuit-breaker cleared:

- first valid breaking operation:  $t_{\text{arc min}}$ , minimum arcing time in phase A;
- re-ignition test:  $t_{\text{arc reig}} = t_{\text{arc min}} - 18^\circ$ , re-ignition in phase A;
- second valid breaking operation:  $t_{\text{arc max}} = t_{\text{arc min}} + 40^\circ$ , maximum arcing time in phase A;
- third valid breaking operation:  $t_{\text{arc med}} = t_{\text{arc min}} + 20^\circ$ , medium arcing time in phase A.

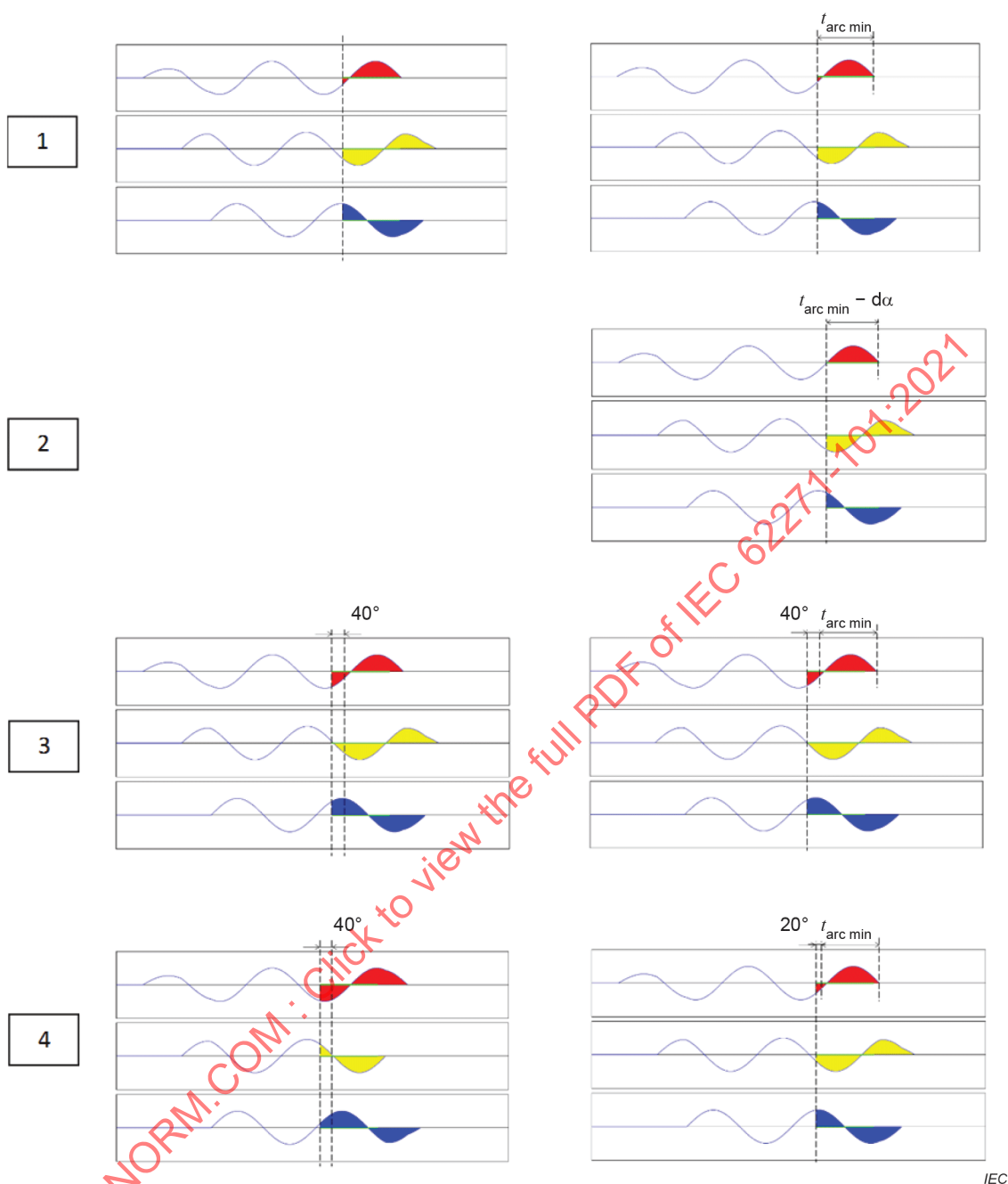
The first valid breaking operation and re-ignition test consist of single opening operations. The order of the first valid breaking operation and re-ignition test can be interchanged.

The order of the second and third valid breaking operations can be interchanged and are carried out as part of the rated operating sequence.

For comparison with the arcing time settings used in three-phase direct tests, see Figure 11 and Figure 12.



**Figure 11 – Comparison of arcing time settings during three-phase direct tests (left) and three-phase synthetic (right) for T100s with  $k_{pp} = 1,5$**



**Key**

- |   |                                                                          |                                                                         |
|---|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1 | first test                                                               | first test, $t_{\text{arc min}}$                                        |
| 2 |                                                                          | second test, $t_{\text{arc min}} - d\alpha$ , resulting in re-ignition  |
| 3 | second test, tripping command $40^\circ$ advanced, related to first test | third test, tripping command $40^\circ$ advanced, related to first test |
| 4 | third test, tripping command $40^\circ$ advanced, related to second test | fourth test tripping command $20^\circ$ advanced, related to first test |

**Figure 12 – Comparison of arcing time settings during three-phase direct tests (left) and three-phase synthetic (right) for T100s with  $k_{pp} = 1,3$**

### 7.104.2.2 Test-duty T100a

The intention is to demonstrate in a series of breaking tests the requirement a) and b) as defined in 7.104.2.2 of IEC 62271-100:2021:

- condition a) where arc extinction occurs in the first-pole-to-clear at the end of a major loop in the first phase with the required asymmetry criteria and with the longest possible arcing time  $t_{arc1}$ ;
- condition b) where arc extinction occurs at the end of a major extended loop in the last-pole-to-clear or in the second-pole-to-clear with the required asymmetry criteria and with the longest possible arcing time,  $t_{arc2}$  and  $t_{arc3}$  as follows:
  - the longest possible arcing time  $t_{arc2}$  applies for the last-pole-to-clear for circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,5$ ;
  - the longest possible arcing time  $t_{arc2}$  applies for the last-pole-to-clear for circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,5$ .

The test procedure, for three-phase testing, is as follows.

In order to simplify the test procedure, the pole in phase A is kept as the first-pole-to-clear. As a consequence, the pole in phase C will be subjected to increased electrical wear. In order to obtain similar electrical wear on the poles of phase B and C, the test can be performed by exchanging the poles of phases B and C for the second breaking operation.

First the minimum arcing time  $t_{arc\ min}$  (Figure 10 and Figure 11, first test) and re-ignition behaviour (Figure 10 and Figure 11, second test) shall be demonstrated having intermediate asymmetry in phase A (Table E.12 to Table E.17, columns 7, 8 and 9) and with the major extended loop occurring in phase C. This is done by changing the setting of the tripping command in steps of  $d\alpha = 18^\circ$  until the minimum arcing time is established.

Before the next operation, initiation of short-circuit current shall be advanced by  $60^\circ$  where the required asymmetry changes to phase A (Figure 10 and Figure 11 third test). Arc extinction shall occur in phase A, the first-pole-to-clear at the end of a major loop with the required asymmetry criteria and with the maximum arcing time demonstrating condition a) mentioned above.

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

$$t_{arc1} = t_{arc\ min} + \Delta t_{a1} - T \times d\alpha/360^\circ$$

In the next operation, the initiation of short-circuit current shall be delayed by  $60^\circ$ . As a result, the required asymmetry changes to phase C. Arc extinction shall occur in phase C at the end of a major extended loop with the required asymmetry criteria and with the maximum arcing time demonstrating condition b) mentioned above:

- the maximum arcing time  $t_{arc2}$  for the last-pole-to-clear for circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,5$  (Figure 10 fourth test) is achieved when the following condition is met:

$$t_{arc2} = t_{arc\ min} + \Delta t_{a2} - T \times d\alpha/360^\circ$$

- the maximum arcing time  $t_{arc3}$  for the second-pole-to-clear for circuit-breakers rated for  $k_{pp} = 1,3$  or  $k_{pp} = 1,2$  (Figure 11 fourth test) is achieved when the following condition is met:

$$t_{arc3} = t_{arc\ min} + \Delta t_{a3} - T \times d\alpha/360^\circ$$

where

$\Delta t_{a1}$ ,  $\Delta t_{a2}$ ,  $\Delta t_{a3}$  are the relevant time parameters to be selected from Table E.12 to Table E.17.

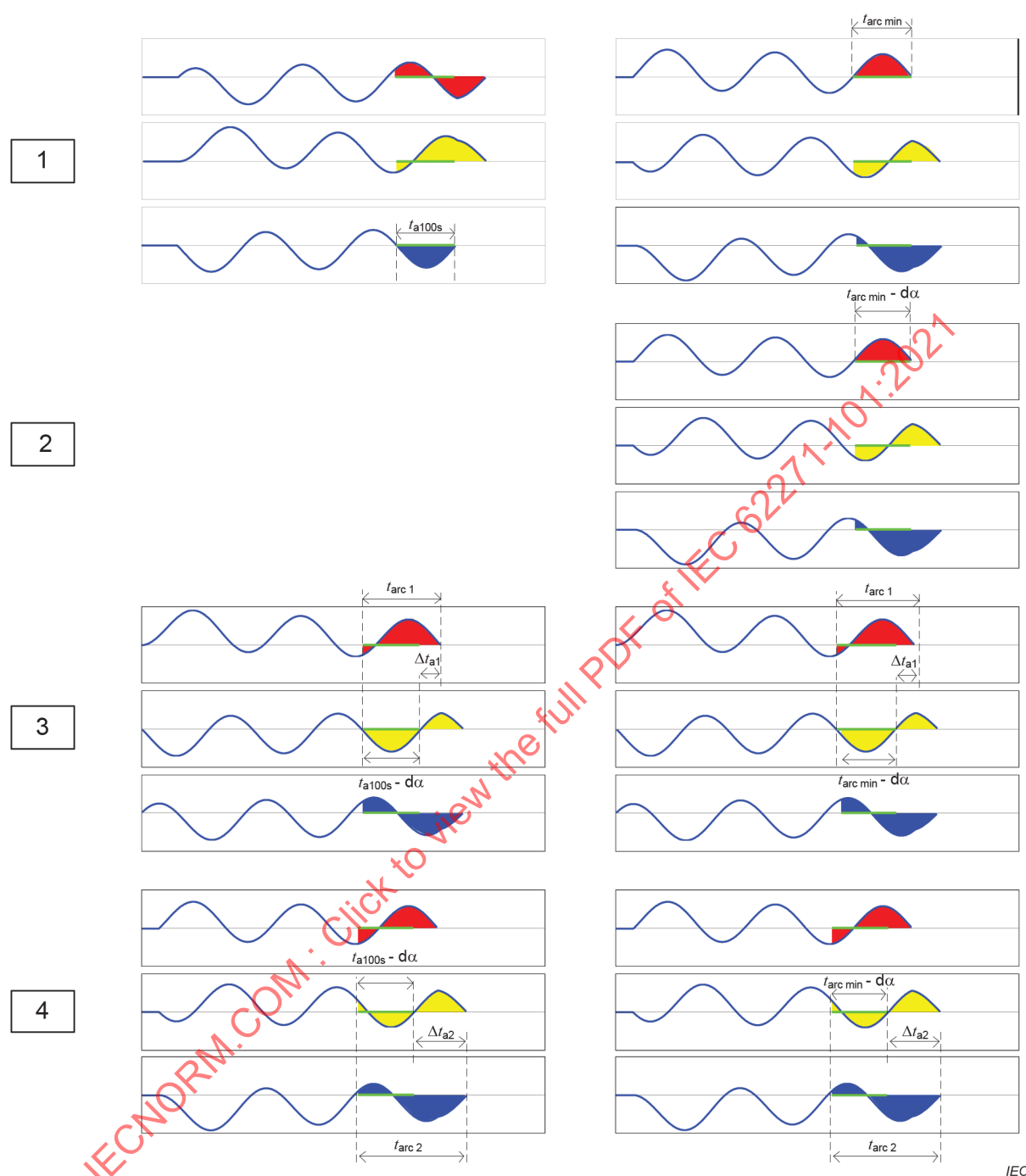
The order of the last two breaking operations can be interchanged.

Some circuit-breakers will not clear at the end of a major loop after the required arcing time. However, this test is valid if the circuit-breaker clears the subsequent minor loop, that becomes the last-pole-to-clear. The corresponding parameters for the last-pole-to-clear for symmetrical condition shall be applied.

For comparison with the arcing settings used in three-phase direct tests, see Figure 10 and Figure 11.

NOTE The last breaking operation required by 7.104.2.2 of IEC 62271-100:2021 is covered by the tests to demonstrate the minimum arcing time.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-101:2021

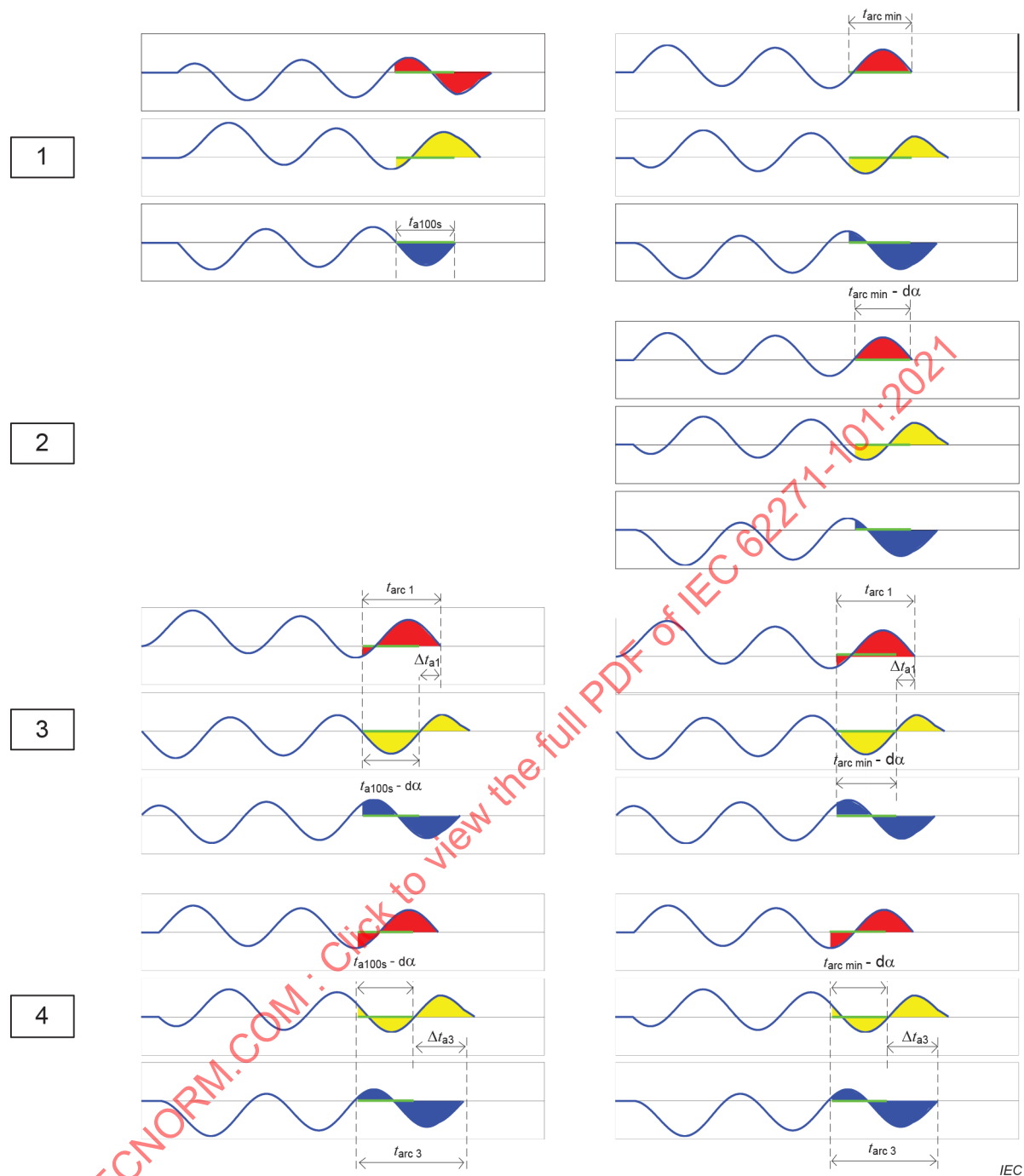


IEC

**Key**

|   |                                                                       |                                                                        |
|---|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1 | first test                                                            | first test, $t_{arc \min}$                                             |
| 2 |                                                                       | second test, $t_{arc \min} - d\alpha$ , resulting in re-ignition       |
| 3 | second test, condition a) first-pole-to-clear after major loop        | third test, condition a) first-pole-to-clear after major loop          |
| 4 | third test, condition b) last-pole-to-clear after major extended loop | fourth test, condition b) last-pole-to-clear after major extended loop |

**Figure 13 – Comparison of arcing time settings during three-phase direct tests (left) and three-phase synthetic tests (right) for T100a with  $k_{pp} = 1,5$**



#### Key

- |   |                                                                         |                                                                          |
|---|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1 | first test                                                              | first test, $t_{arc\ min}$                                               |
| 2 |                                                                         | second test, $t_{arc\ min} - d\alpha$ , resulting in re-ignition         |
| 3 | second test, condition a) first-pole-to-clear after major loop          | third test, condition a) first-pole-to-clear after major loop            |
| 4 | third test, condition b) second-pole-to-clear after major extended loop | fourth test, condition b) second-pole-to-clear after major extended loop |

**Figure 14 – Comparison of arcing time settings during three-phase direct tests (left) and three-phase synthetic tests (right) for T100a with  $k_{pp} = 1,3$**

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

#### 7.104.3.1 General

The procedures as described in 7.104.3 of IEC 62271-100:2021 are applicable with the following changes. These procedures are meant to demonstrate the first-pole-to-clear, the second-pole-to-clear and the third-pole-to-clear conditions, with current and voltage parameters applicable for the first-pole-to-clear.

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

The procedures as described in 7.104.3.2 of IEC 62271-100:2021 are applicable with the following addition.

The minimum arcing time  $t_{\text{arc min}}$  and re-ignition behaviour shall be demonstrated. This is done by changing the setting of the tripping command in steps of 18° until the minimum arcing time is established.

#### 7.104.3.3 Test-duty T100a

The test procedure is as follows.

The minimum arcing time  $t_{\text{arc min}}$  and re-ignition behaviour shall be demonstrated with the major loop at intermediate asymmetry (Table E.12 to Table E.17, columns 7 and 8). This is done by changing the setting of the tripping command in steps of 18° until the minimum arcing time is established.

After that, two breaking operations at required asymmetry shall be performed as described below. Table E.12 to Table E.17, columns 3 and 4, give the required values of the peak short-circuit current and loop duration that shall be attained in the last loop prior to the interruption.

One breaking operation, shall demonstrate interruption at the end of the major loop with an arcing time equivalent to the maximum arcing time under three-phase conditions  $t_{\text{arc1}}$  of the first-pole-to-clear, corresponding to arcing time  $t_{\text{arc1}}$  of 7.104.3.3 of IEC 62271-100:2021.

The maximum arcing time  $t_{\text{arc1}}$  for the first pole-to-clear is achieved when the following condition is met:

$$t_{\text{arc1}} = t_{\text{arc min}} + \Delta t_{\text{a1}} - T \times \text{da}/360^\circ$$

Another breaking operation, , shall demonstrate interruption at the end of the major loop with an arcing time equivalent to the maximum arcing time under three-phase conditions, corresponding to arcing time  $t_{\text{arc2}}$  or  $t_{\text{arc3}}$  of 7.104.3.3 of IEC 62271-100:2021:

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

$$t_{\text{arc2}} = t_{\text{arc min}} + \Delta t_{\text{a2}} - T \times \text{da}/360^\circ$$

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

$$t_{\text{arc3}} = t_{\text{arc min}} + \Delta t_{\text{a3}} - T \times \text{da}/360^\circ$$

where

$\Delta t_{a1}$ ,  $\Delta t_{a2}$ ,  $\Delta t_{a3}$  are the relevant parameters to be selected from Table E.12 to Table E.17.

The order of the last two breaking operations can be interchanged.

Since some circuit-breakers will not clear after a major loop, a test is still valid if the circuit-breaker interrupts at the subsequent minor loop.

NOTE The last breaking operation required by 7.104.3.3 of IEC 62271-100:2021 is considered to be covered by the tests to demonstrate the minimum arcing time.

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

The requirements as described in 7.104.3.5 of IEC 62271-100:2021 are applicable and the test procedure for synthetic testing is given in Annex E.

##### **7.104.3.101 Modified procedure in cases where the circuit-breaker did not interrupt during a test with a medium and/or a maximum arcing time, during breaking tests with symmetrical current**

If the circuit-breaker did not interrupt at the expected current zero during a breaking operation with symmetrical current with a medium and/or a maximum arcing time, then it is necessary to perform one additional breaking operation for each respective arcing time.

The breaking operation for medium arcing time shall demonstrate interruption with:

$$t_{\text{arc med}} + T \times (150^\circ / 360^\circ), \text{ if } k_{\text{pp}} = 1,5$$

$$t_{\text{arc med}} + T \times (180^\circ / 360^\circ), \text{ if } k_{\text{pp}} = 1,3, 1,2 \text{ or } 1,0$$

where

$t_{\text{arc med}}$  is the medium arcing time at which the circuit-breaker did not interrupt.

The breaking operation for maximum arcing time shall demonstrate interruption with:

$$t_{\text{arc max}} + T \times (180^\circ / 360^\circ)$$

where

$t_{\text{arc max}}$  is the maximum arcing time at which the circuit-breaker did not interrupt.

If the circuit-breaker does not interrupt during any of these additional breaking operations, it is permissible to carry out maintenance work on the circuit-breaker according to 7.102.9.6 of IEC 62271-100:2021 and repeat the test-duty where the breaking operation with the medium and/or maximum arcing time is replaced by the breaking operation with the arcing time as defined above.

The additional test is performed with the same operation as where the circuit-breaker did not interrupt (e.g. (Cd)Os, Od t CdOs, etc.).

#### **7.105.5.4 Test-duty T30**

For rated voltages up to and including 72,5 kV, it can be difficult to meet the small values of  $t_3$ . The shortest time which can be met should be used, see 7.105.5.4 of IEC 62271-100:2021. The values used shall be stated in the test report.

### **7.105.5.5 Test-duty T10**

For rated voltages up to and including 72,5 kV it can be difficult to meet the small values of  $t_3$ . The shortest time which can be met should be used, see 7.105.5.5 of IEC 62271-100:2021. The values used shall be stated in the test report.

## **7.107 Terminal fault tests**

### **7.107.1 General**

The basic requirements are given in 7.107.1 of IEC 62271-100:2021. The synthetic test methods are given in Table 7.

NOTE Due to the characteristics of synthetic testing, it can be difficult to comply with the specified time intervals of the rated operating sequence. See 7.106.1 of IEC 62271-100:2021.

In order to comply with all test requirements, it can be applicable to make more operations than specified in the normal test duty. In such cases, the circuit-breaker can be reconditioned, and the test duty repeated.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-101:2021

**Table 7 – Synthetic test methods for test duties T10, T30, T60, T100s, T100a, SP, DEF, OP and SLF**

| Test duty        | Synthetic test                                                                                      |        | operating sequence                                                     |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------|
|                  | Subclause                                                                                           | Method |                                                                        |
| T10, T30 and T60 | 7.107.2 to 7.107.4                                                                                  | 1      | $Os - t - (Cd)Os - t' - (Cd)Os^a$                                      |
|                  |                                                                                                     | 2      | $Os$<br>$Od - t - (Cd)Os - t' - (Cd)Os^{a, e}$                         |
| T100s            | 7.107.5.2<br>time constant of the DC component of the test circuit equal to the specified value     | 3      | $Os - t - CsOs - t' - CsOs^f$                                          |
|                  |                                                                                                     | 4      | $Os$<br>$Od - t - Cs_{sym}Os - t' - Cd_{asy}Os^e$                      |
|                  |                                                                                                     | 5      | $Cs_{sym}$<br>$Os$<br>$Od - t - CdOs - t' - CdOs^{d, e}$               |
|                  | 7.107.5.3<br>time constant of the DC component of the test circuit less than the specified value    | 6      | $Cd_{asy}$<br>$Os$<br>$Od - t - Cs_{sym}Os - t' - CdOs^{b, e}$         |
|                  |                                                                                                     | 7      | $Cd_{asy}$<br>$Cs_{sym}$<br>$Os$<br>$Od - t - CdOs - t' - CdOs^{b, e}$ |
|                  | 7.107.5.4<br>time constant of the DC component of the test circuit greater than the specified value | 4      | $Os$<br>$Od - t - Cs_{sym}Os - t' - Cd_{asy}Os^{c, e}$                 |
|                  |                                                                                                     | 5      | $Cs_{sym}$<br>$Os$<br>$Od - t - CdOs - t' - CdOs^{c, d, e}$            |
|                  |                                                                                                     | 7      | $Cd_{asy}$<br>$Cs_{sym}$<br>$Os$<br>$Od - t - CdOs - t' - CdOs^{c, e}$ |
| T100a            | 7.107.6                                                                                             |        | $Os - t' - Os - t' - Os$                                               |
| SP and DEF       | 7.108.2                                                                                             |        | $Os$                                                                   |
| SLF              | 7.109                                                                                               | 1      | $Os - t - (Cd)Os - t' - (Cd)Os^a$                                      |
|                  |                                                                                                     | 2      | $Os$<br>$Od - t - (Cd)Os - t' - (Cd)Os^{a, e}$                         |
| OP1              | 7.110                                                                                               |        | $Os, Os, Os$                                                           |
| OP2              | 7.110                                                                                               | 8      | $Cs_{sym}Os, Os, Os$                                                   |
|                  |                                                                                                     | 9      | $Cs_{sym}$<br>$(Cd)Os, Os, Os^a$                                       |

- <sup>a</sup> ( $C_d$ ) is a closing operation as  $C_d$ , which can be carried out under no-load conditions.
- <sup>b</sup> Due to the smaller time constant of the DC component of the test circuit with respect to the specified value used for the rated short-circuit breaking current, the symmetrical value of the current during  $C_{d_{asy}}$  will need to be greater than the rated value. During the  $C_d$  for the same reason, the current peak, already demonstrated during  $C_{d_{asy}}$  will be smaller than the rated short-circuit making current.
- <sup>c</sup> Due to the larger time constant of the DC component of the test circuit with respect to the specified value used for the rated short-circuit, the current peak during the asymmetrical closing can be larger than the rated short-circuit making current. A peak current reduction circuit can be used or the closing operation can be controlled by use of point on wave control, to obtain the required rated short-circuit making current. The use of point-on-wave control is subject to the consent of the manufacturer.
- <sup>d</sup> One of the two  $C_d$ 's shall be  $C_{d_{asy}}$ .
- <sup>e</sup>  $O_d$  having the same minimum arcing time condition as the previous  $O_s$ .
- <sup>f</sup> One  $C_s$  meeting requirement a) and the other  $C_s$  meeting requirement b) of 7.105.2.1 of IEC 62271-100:2021.

### 7.107.2 Test-duty T10

One on the methods 1 or 2 can be used to perform the rated operating sequence synthetically with the specified parameters (see Table 7).

### 7.107.3 Test-duty T30

One on the methods 1 or 2 can be used to perform the rated operating sequence synthetically with the specified parameters (see Table 7).

### 7.107.4 Test-duty T60

One on the methods 1 or 2 can be used to perform the rated operating sequence synthetically with the specified parameters (see Table 7).

### 7.107.5 Test-duty T100s

#### 7.107.5.2 Time constant of the DC component of the test circuit equal to the specified value

One on the methods 3, 4 or 5 can be used to perform the rated operating sequence synthetically with the specified parameters (see Table 7), when the time constant of the test circuit is equal to the specified value used for the rated short-circuit breaking current as defined by 5.101.3 of IEC 62271-100:2021.

#### 7.107.5.3 Time constant of the DC component of the test circuit less than the specified value

One on the methods 6 or 7 can be used to perform the rated operating sequence synthetically with the specified parameters (see Table 7), when the time constant of the test circuit is less than the specified value used for the rated short-circuit breaking current according to 5.101.3 of IEC 62271-100:2021.

#### 7.107.5.4 Time constant of the DC component of the test circuit greater than the specified value

One on the methods 4, 5 or 7 can be used to perform the rated operating sequence synthetically with the specified parameters (see Table 7), when the time constant of the test circuit is greater than the specified value used for the rated short-circuit breaking current according to 5.101.3 of IEC 62271-100:2021.

### 7.107.6 Test-duty T100a

Three breaking operations shall be made as specified in 7.107.6 of IEC 62271-100:2021 (see Table 7).

During tests with asymmetrical current, both  $di/dt$  and the TRV are modified due to the DC component. In synthetic tests, these modifications shall be pre-arranged as follows.

- a) Depending on the required DC time constant, the following asymmetry criteria shall be fulfilled as given below

Required values of the peak short-circuit current and loop duration shall be in accordance with the values in Table E.12 to Table E.17.

Criteria for actual values are given in 4.1.2.

When a voltage injection method is used, the criteria regarding the  $di/dt$  at current zero can be disregarded.

- b) Reduction of  $di/dt$  at current zero

The reduction of  $di/dt$  can be obtained for current injection methods by reducing the charging voltage of the voltage circuit.

The corresponding corrected values can be found in Table E.12 to Table E.17.

- c) Correction of TRV

- 1) Simplified method

For TRVs with time  $t_2$  or  $t_3$  not exceeding 500  $\mu$ s, a simplified method can be used, where the charging voltage of the synthetic circuit shall be set to obtain the most onerous test parameters. See Annex A for more guidance.

- 2) For TRVs with time  $t_2$  exceeding 500  $\mu$ s, other corrections and/or circuit modifications shall be used. For the required prospective TRV values, see Table A.1 through Table A.6.

Different test circuits for different asymmetry conditions can be needed in order to obtain the required values. A test with one single test circuit can over-stress the circuit-breaker and requires the consent of the manufacturer.

- 3)  $u_c$  and RRRV for second-pole-to-clear and last-pole-to-clear are obtained from the respective values for symmetrical conditions reduced by the same factor as the corresponding  $di/dt$ .

- d) Correction of recovery voltage

When a test is made for clearance at the end of a major loop, the reduced recovery voltage will adequately cover the first quarter loop of the recovery voltage (of an equivalent direct test).

For clearance at the end of a minor loop of current, the reduced recovery voltage will not cover reference system conditions since in the system the power-frequency recovery voltage continues to rise after the onset of the TRV.

Together with the symmetrical test duties, the evidence is sufficient to prove the performance of the circuit-breaker.

- e) Intermediate asymmetry

The phase with the intermediate asymmetry as required for testing T100a according to 7.104.2.2 and 7.104.3.3 refers to the phase, in a three-phase system, having its current zero just prior to current zero of the phase with required asymmetry. This phase also starts with a major loop of current, at current initiation. As an example, the red coloured phase in tests 1 and 2 of Figure 10 and Figure 11 (synthetic test, right hand part of the figures) fulfils this intermediate asymmetry condition.

In this particular phase, the major loops are called "intermediate major loops".

The parameters of the intermediate major loop can be obtained from Table E.12 to Table E.17.

### 7.108.2 Single-phase and double-earth fault tests

The basic test requirements are given in 7.108.2 of IEC 62271-100:2021. The test method is shown in Table 7.

### 7.109 Short-line fault tests

The basic test requirements are given in 7.109 of IEC 62271-100:2021.

One of the methods 1 or 2 can be used to perform the rated operating sequence synthetically with the specified parameters (see Table 7).

For short-line fault (SLF) synthetic testing, the parameters of the short-line fault circuit shall be those given in 7.109 of IEC 62271-100:2021 and the line circuit shall be in the current-carrying circuit during the whole interaction interval.

With current injection circuits, the short-line fault circuit can be connected in series with the voltage circuit and its inductance is added to  $L_h$ , as shown in Figure 145 of IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018.

The presence of the short-line fault circuit in the voltage circuit can cause oscillations to be superimposed on the injected current wave. These oscillations should be damped out (to satisfy d) of 4.2.1), so as not to affect the current during the interval of significant change of arc voltage or at least 100  $\mu$ s before current zero.

A resistance can be connected in series with the TRV shaping circuit. In most cases, this resistance, selected to control the initial rate of rise of recovery voltage, is sufficient to supply the necessary damping.

NOTE 1 If, for short-line fault tests, the line is connected to the same side of the test circuit-breaker as the voltage circuit impedance, special attention is given to voltage distribution and measurement of prospective TRV.

If an extra capacitance is used to adjust the time delays as per 7.109.3 of IEC 62271-100:2021, care should be taken as to where to apply this capacitance:

- when using a line side capacitance, it shall be connected across the line section of the test circuit to simulate the same conditions as in direct tests;
- when using a source side capacitance, it shall be connected across the source section of the voltage circuit.

A capacitance across the circuit-breaker is normally considered as being part of the test object. In certain cases, it can be applicable to apply additional capacitance across the circuit-breaker to adjust the time delay of the test circuit.

NOTE 2 A capacitance across the auxiliary circuit-breaker influences the time delay and is considered as being part of the delay capacitance of the test circuit.

According to 7.109.5 of IEC 62271-100:2021, short-line fault tests can also be made with current injection circuit based on reduced power-frequency voltage, the provisions of 7.109.3 of IEC 62271-100:2021 being relaxed.

These provisions shall be met as well as possible and, for the transient recovery voltage at least up to three times the specified time of the first line side peak.

For applicability of this method, refer to 7.109.5 of IEC 62271-100:2021.

NOTE 3 It is recognized that the requirements of 4.2.1 b) on the inductance of the voltage circuit are in accordance with equivalent direct circuit with reduced power.

### 7.110 Out-of-phase making and breaking tests

The basic requirements are given in 7.110 of IEC 62271-100:2021.

One of the methods 8 or 9 can be used to perform the operating sequence synthetically with the specified parameters for OP2 (see Table 7), independently of the pre-arcing time.

The test method for OP1 is given in Table 7.

It can be applicable to separate the making and breaking tests of test-duty OP2. In this case, the part consisting of the making operations is designated OP2(a) and the part consisting of the breaking operations is designated OP2(b).

### 7.111 Capacitive current tests

#### 7.111.1 General

The basic requirements are given in 7.111 of IEC 62271-100:2021.

For metal-enclosed circuit-breakers, typical test circuits are given in Annex G and additional guidelines are given in Annex I of IEC 62271-100:2021.

#### 7.111.3 Characteristics of supply circuits

When the characteristics of the test circuit do not meet the requirements of 7.111.3 of IEC 62271-100:2021, the prospective recovery voltage specified in 7.111.10 of IEC 62271-100:2021 shall be applied.

The effects of current chopping, as described in Clause I.5, can modify the recovery voltage during the capacitive current switching tests. Therefore, the verification of the specified TRV is obtained at minimum arcing time only.

A test circuit with a 50 Hz current circuit can be used to prove the capacitive current switching capability for a rating of 60 Hz, provided that the recovery voltage fulfils the 60 Hz requirements (see 7.111.3 of IEC 62271-100:2021). The setting of the contact separation should be based on the frequency of the current circuit.

#### 7.111.7 Test voltage

The prospective recovery voltage during synthetic capacitive current switching tests shall be calculated based on the test voltage of the corresponding single-phase direct test, as defined in 7.111.7 of IEC 62271-100:2021 and comply with the requirements of 7.111.10 of IEC 62271-100:2021.

Due to limitations of some synthetic test circuits, the following additional requirements apply to the recovery voltage:

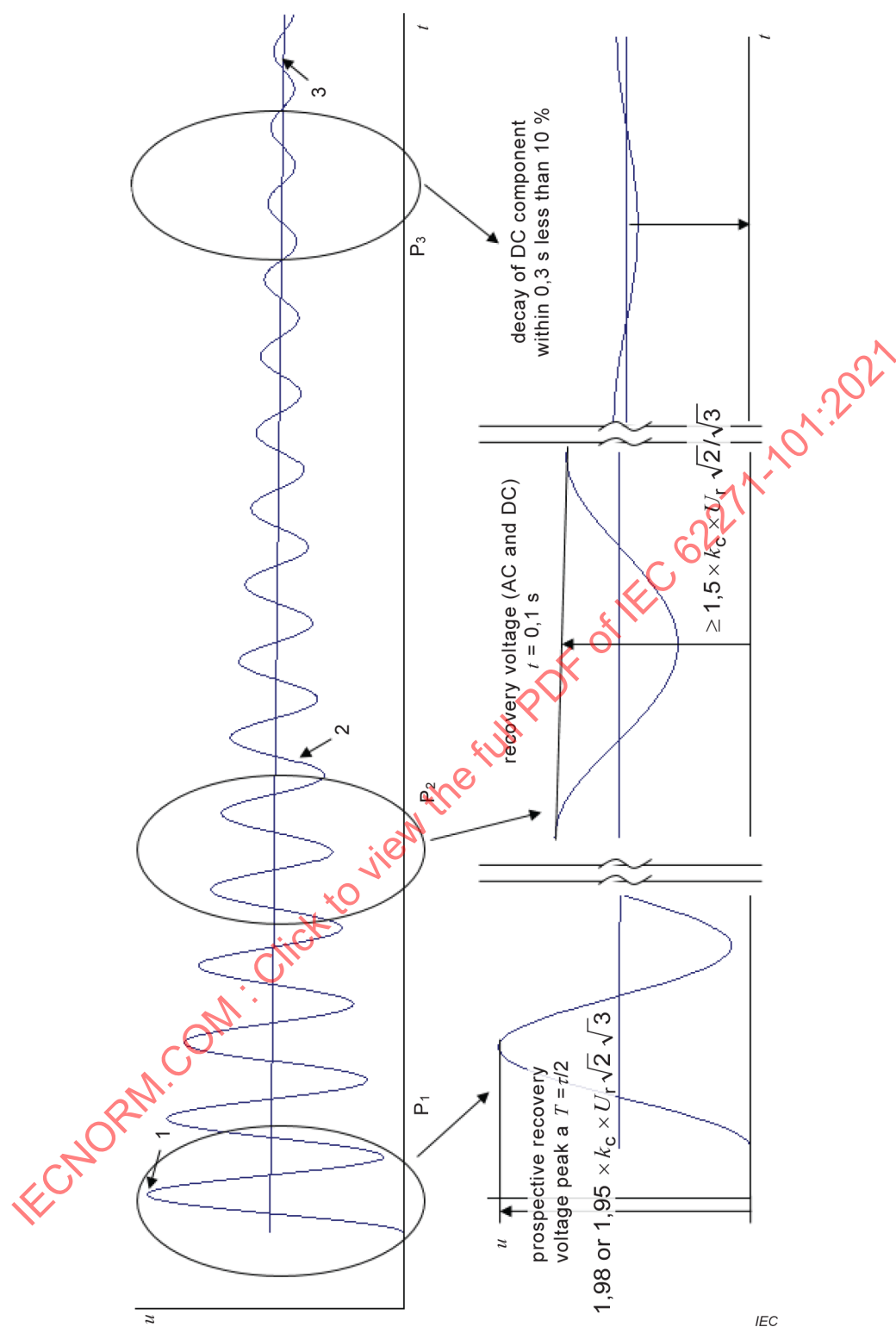
- the peak value of the AC component of the recovery voltage should be kept as close as possible to  $k_c \times U_r \sqrt{2/\sqrt{3}}$ ;
- the DC component of the recovery voltage shall not decay more than 10 % within an interval of 0,3 s after final arc extinction, except for test duty LC1 and/or CC1;
- the recovery voltage shall not fall below  $1,5 \times k_c \times U_r \sqrt{2/\sqrt{3}}$  within an interval of 0,1 s after final arc extinction.

Graphical representation is shown in Figure 15.

Examples of synthetic capacitive current switching circuits are given in Annex I.

Where neither of the test circuit used for the different test duties are unable to fulfil the recovery voltage requirements concerning the DC component, as listed above, for 300 ms, the withstand ability of the circuit-breaker shall be demonstrated in another way. This demonstration can be done by performing an additional test without current, applying the required recovery voltage. The required recovery voltage can be obtained by applying, for example, a DC voltage at one terminal and an AC voltage to the other terminal for the required time duration. The number of voltage applications shall be five in each polarity. Where the capacitive current switching tests are performed three-phase, this additional dielectric test shall be carried out on each of the three phases. The pressure for interruption and insulation during this test shall, where applicable, be that specified for the corresponding capacitive current switching test.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-101:2021



**Key**

- |        |                                                                                                                                                         |                |                                                                                                            |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | recovery voltage with exponential decrement in the AC and DC components across the circuit-breaker during a synthetic capacitive current switching test | P <sub>1</sub> | point on which the peak of recovery voltage (1) occurs                                                     |
| 2      | AC component of the recovery voltage                                                                                                                    | P <sub>2</sub> | point where the recovery voltage (1) shall not be below $1,5 \times k_c \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$    |
| 3      | DC component of the recovery voltage                                                                                                                    | P <sub>3</sub> | point where the DC recovery voltage (3) shall not be below $0,9 \times k_c \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ |
| $\tau$ | cycle of power frequency                                                                                                                                |                |                                                                                                            |

**Figure 15 – Evaluation of recovery voltage during synthetic capacitive current switching testing**

## Annex A (normative)

### Correction of $di/dt$ and TRV for test duty T100a

#### A.1 General

During asymmetrical fault condition, the resultant  $di/dt$  and TRV are modified by the DC component of the fault current.

There are two options.

- 1) Test circuit set to obtain the rated TRV associated with T100s

In that case, it is impossible to meet simultaneously all parameters ( $di/dt$ ,  $u_1$  and  $u_c$ ) since these parameters are not varying linearly with the DC component at current zero. The charging voltage of the synthetic circuit shall be set to obtain the most onerous test parameter. For tests on the major loop, the most onerous test parameter is always  $di/dt$  while the most onerous parameter for tests on the subsequent minor loop is  $u_c$ . In case of voltage injection test method, the most onerous test parameter for tests on major loop becomes  $u_1$ .

- 2) Use different test circuits to obtain the modified TRV associated with appropriate asymmetry conditions.

In that case, all required parameters ( $di/dt$ ,  $u_1$  and  $u_c$ ) can be met simultaneously.

The choice of the option is left to the manufacturer since option 1) can overstress the circuit-breaker (for example for tests on major loop, the required correction on  $di/dt$  will produce a higher  $u_c$  than required).

#### A.2 Reduction in $di/dt$

For the last current loop parameters, refer to Table A.7 and Table A.8 and Table E.12 through Table E.17.

#### A.3 Corrected TRV for the first-pole-to-clear with required asymmetry

Table A.1 through Table A.6 cover the corrected TRV values for  $k_{pp} = 1,5$ , 1,3 and 1,2 for  $f_r = 50$  Hz and  $f_r = 60$  Hz.

**Table A.1 – Corrected TRV values for the first-pole-to-clear for  $k_{pp} = 1,3$  and  $f_r = 50$  Hz**

| Minimum clearing time<br>ms           |                                       | 10,0 < t ≤ 27,0      |                      | 27,0 < t ≤ 47,5      |                      | 47,5 < t ≤ 68,0      |                      | 68,0 < t ≤ 88,0      |                      |  |  |
|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|--|
|                                       | U <sub>r</sub><br>kV                  | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV |  |  |
| τ = 45 ms<br>major loop               | 72,5 <sup>c</sup>                     | b                    | 99                   | b                    | 105                  | b                    | 107                  | a                    | a                    |  |  |
|                                       | 72,5 <sup>d</sup>                     | b                    | 109                  | b                    | 115                  | b                    | 118                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 100                                   | 74                   | 136                  | 78                   | 144                  | 79                   | 147                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 123                                   | 90                   | 166                  | 96                   | 177                  | 97                   | 181                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 145                                   | 106                  | 195                  | 113                  | 208                  | 115                  | 213                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 170                                   | 125                  | 228                  | 132                  | 243                  | 134                  | 249                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 245                                   | 179                  | 325                  | 190                  | 348                  | 194                  | 357                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 300                                   | 219                  | 394                  | 232                  | 423                  | 237                  | 436                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 362                                   | 264                  | 471                  | 280                  | 508                  | 286                  | 524                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 420                                   | 306                  | 541                  | 324                  | 586                  | 331                  | 606                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 550                                   | 399                  | 693                  | 424                  | 757                  | 433                  | 787                  |                      |                      |  |  |
| 800                                   | 576                                   | 965                  | 613                  | 1 074                | 628                  | 1 126                |                      |                      |                      |  |  |
| τ = 45 ms<br>subsequent<br>minor loop | 72,5 <sup>c</sup>                     | b                    | 98                   | b                    | 103                  | b                    | 106                  | a                    | a                    |  |  |
|                                       | 72,5 <sup>d</sup>                     | b                    | 107                  | b                    | 113                  | b                    | 116                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 100                                   | 72                   | 135                  | 76                   | 143                  | 78                   | 146                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 123                                   | 88                   | 167                  | 94                   | 176                  | 96                   | 180                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 145                                   | 104                  | 197                  | 110                  | 208                  | 113                  | 212                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 170                                   | 122                  | 232                  | 129                  | 244                  | 132                  | 249                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 245                                   | 176                  | 338                  | 187                  | 354                  | 191                  | 360                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 300                                   | 216                  | 417                  | 229                  | 435                  | 234                  | 442                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 362                                   | 261                  | 507                  | 276                  | 528                  | 283                  | 535                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 420                                   | 304                  | 593                  | 321                  | 615                  | 328                  | 623                  |                      |                      |  |  |
|                                       | 550                                   | 399                  | 789                  | 421                  | 814                  | 430                  | 821                  |                      |                      |  |  |
| 800                                   | 584                                   | 1 184                | 615                  | 1 207                | 627                  | 1 209                |                      |                      |                      |  |  |
| Minimum clearing time<br>ms           |                                       | 10,0 < t ≤ 27,0      |                      | 27,0 < t ≤ 47,5      |                      | 47,5 < t ≤ 67,5      |                      | 67,5 < t ≤ 88,0      |                      |  |  |
|                                       | U <sub>r</sub><br>kV                  | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV |  |  |
| τ = 60 ms<br>major loop               | 72,5 <sup>c</sup>                     | b                    | 92                   | b                    | 100                  | b                    | 104                  | b                    | 106                  |  |  |
|                                       | 72,5 <sup>d</sup>                     | b                    | 102                  | b                    | 111                  | b                    | 115                  | b                    | 117                  |  |  |
|                                       | 100                                   | 69                   | 127                  | 75                   | 138                  | 77                   | 143                  | 79                   | 146                  |  |  |
|                                       | 123                                   | 85                   | 155                  | 92                   | 169                  | 95                   | 176                  | 97                   | 179                  |  |  |
|                                       | 145                                   | 100                  | 182                  | 108                  | 199                  | 112                  | 207                  | 114                  | 211                  |  |  |
|                                       | 170                                   | 117                  | 212                  | 127                  | 232                  | 131                  | 242                  | 134                  | 247                  |  |  |
|                                       | 245                                   | 168                  | 301                  | 182                  | 331                  | 189                  | 347                  | 192                  | 355                  |  |  |
|                                       | 300                                   | 205                  | 364                  | 223                  | 403                  | 231                  | 422                  | 235                  | 433                  |  |  |
|                                       | 362                                   | 247                  | 434                  | 269                  | 482                  | 279                  | 506                  | 284                  | 520                  |  |  |
|                                       | 420                                   | 286                  | 497                  | 311                  | 554                  | 323                  | 584                  | 329                  | 601                  |  |  |
|                                       | τ = 60 ms<br>subsequent<br>minor loop | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 93                   | b                    | 100                  | b                    | 104                  | b                    |  |  |
| 72,5 <sup>d</sup>                     |                                       | b                    | 101                  | b                    | 110                  | b                    | 114                  | b                    | 116                  |  |  |
| 100                                   |                                       | 68                   | 128                  | 73                   | 138                  | 76                   | 143                  | 78                   | 146                  |  |  |
| 123                                   |                                       | 83                   | 159                  | 90                   | 171                  | 94                   | 177                  | 96                   | 180                  |  |  |
| 145                                   |                                       | 98                   | 188                  | 107                  | 202                  | 111                  | 209                  | 113                  | 212                  |  |  |
| 170                                   |                                       | 115                  | 221                  | 125                  | 237                  | 130                  | 245                  | 132                  | 249                  |  |  |
| 245                                   |                                       | 167                  | 323                  | 181                  | 345                  | 187                  | 355                  | 191                  | 360                  |  |  |
| 300                                   |                                       | 205                  | 399                  | 221                  | 425                  | 229                  | 437                  | 234                  | 442                  |  |  |
| 362                                   |                                       | 248                  | 487                  | 267                  | 517                  | 277                  | 530                  | 282                  | 536                  |  |  |
| 420                                   |                                       | 288                  | 570                  | 311                  | 603                  | 322                  | 618                  | 328                  | 623                  |  |  |

| Minimum clearing time<br>ms                | 10,0 < t ≤ 27,0 |             |              | 27,0 < t ≤ 47,5 |              | 47,5 < t ≤ 67,5 |              | 67,5 < t ≤ 87,5 |              | 87,5 < t ≤ 108 |              |
|--------------------------------------------|-----------------|-------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|----------------|--------------|
|                                            | $U_r$<br>kV     | $u_1$<br>kV | $u_c$<br>kV  | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV  | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV  | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV  | $u_1$<br>kV    | $u_c$<br>kV  |
| $\tau = 75$ ms<br>major loop               | 550<br>800      | 349<br>501  | 580<br>785   | 388<br>560      | 669<br>928   | 409<br>592      | 722<br>1 015 | 421<br>610      | 754<br>1 070 | 428<br>621     | 775<br>1 106 |
| $\tau = 75$ ms<br>subsequent<br>minor loop | 550<br>800      | 360<br>529  | 737<br>1 126 | 394<br>577      | 786<br>1 184 | 413<br>603      | 808<br>1 207 | 423<br>618      | 819<br>1 215 | 429<br>626     | 823<br>1 216 |

a Test duty T100a is not applicable, asymmetry level lower than 20 % for both current loops.

b  $u_1$  is not defined for a two parameter TRV.

c Class S1

d Class S2

**Table A.2 – Corrected TRV values for the first-pole-to-clear for  $k_{pp} = 1,3$  and  $f_r = 60$  Hz**

| Minimum clearing time<br>ms                | 8,5 < t ≤ 22,5    |             |             | 22,5 < t ≤ 39,5 |             | 39,5 < t ≤ 56,5 |             | 56,5 < t ≤ 73,0 |             |  |  |
|--------------------------------------------|-------------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|--|--|
|                                            | $U_r$<br>kV       | $u_1$<br>kV | $u_c$<br>kV | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV |  |  |
| $\tau = 45$ ms<br>major loop               | 72,5 <sup>c</sup> | b           | 94          | b               | 102         | b               | 105         | a               | a           |  |  |
|                                            | 72,5 <sup>d</sup> | b           | 105         | b               | 113         | b               | 116         |                 |             |  |  |
|                                            | 100               | 71          | 130         | 76              | 140         | 78              | 145         |                 |             |  |  |
|                                            | 123               | 87          | 159         | 93              | 172         | 96              | 178         |                 |             |  |  |
|                                            | 145               | 102         | 186         | 110             | 202         | 113             | 209         |                 |             |  |  |
|                                            | 170               | 120         | 217         | 129             | 236         | 133             | 244         |                 |             |  |  |
|                                            | 245               | 172         | 307         | 185             | 336         | 191             | 350         |                 |             |  |  |
|                                            | 300               | 210         | 371         | 226             | 408         | 234             | 426         |                 |             |  |  |
|                                            | 362               | 253         | 441         | 273             | 488         | 282             | 511         |                 |             |  |  |
|                                            | 420               | 293         | 505         | 316             | 561         | 326             | 589         |                 |             |  |  |
|                                            | 550               | 381         | 640         | 412             | 720         | 426             | 761         |                 |             |  |  |
|                                            | 800               | 548         | 873         | 595             | 1 006       | 617             | 1 079       |                 |             |  |  |
| $\tau = 45$ ms<br>subsequent<br>minor loop | 72,5 <sup>c</sup> | b           | 95          | b               | 101         | b               | 105         | a               | a           |  |  |
|                                            | 72,5 <sup>d</sup> | b           | 104         | b               | 111         | b               | 115         |                 |             |  |  |
|                                            | 100               | 69          | 132         | 75              | 141         | 77              | 145         |                 |             |  |  |
|                                            | 123               | 85          | 163         | 92              | 173         | 95              | 178         |                 |             |  |  |
|                                            | 145               | 101         | 192         | 108             | 205         | 112             | 211         |                 |             |  |  |
|                                            | 170               | 118         | 227         | 127             | 241         | 131             | 247         |                 |             |  |  |
|                                            | 245               | 171         | 331         | 183             | 351         | 189             | 359         |                 |             |  |  |
|                                            | 300               | 210         | 410         | 225             | 432         | 232             | 441         |                 |             |  |  |
|                                            | 362               | 254         | 501         | 272             | 525         | 280             | 535         |                 |             |  |  |
|                                            | 420               | 295         | 587         | 315             | 614         | 325             | 624         |                 |             |  |  |
|                                            | 550               | 388         | 787         | 414             | 816         | 426             | 825         |                 |             |  |  |
|                                            | 800               | 570         | 1 196       | 607             | 1 223       | 623             | 1 225       |                 |             |  |  |



**Table A.3 – Corrected TRV values for the first-pole-to-clear for  $k_{pp} = 1,5$  and  $f_r = 50$  Hz**

| Minimum clearing time<br>ms           |                      | 10,0 < t ≤ 27,0      |                      | 27,0 < t ≤ 47,5      |                      | 47,5 < t ≤ 68,0      |                      | 68,0 < t ≤ 88,0      |                      |
|---------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                       | U <sub>r</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV |
| τ = 45 ms<br>major loop               | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 114                  | b                    | 121                  | b                    | 123                  | a                    | a                    |
|                                       | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 126                  | b                    | 133                  | b                    | 136                  |                      |                      |
|                                       | 100                  | 85                   | 156                  | 90                   | 166                  | 91                   | 169                  |                      |                      |
|                                       | 123                  | 104                  | 191                  | 110                  | 203                  | 112                  | 208                  |                      |                      |
|                                       | 145                  | 123                  | 224                  | 130                  | 239                  | 132                  | 245                  |                      |                      |
|                                       | 170                  | 144                  | 262                  | 152                  | 280                  | 155                  | 286                  |                      |                      |
| τ = 45 ms<br>subsequent<br>minor loop | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 113                  | b                    | 119                  | b                    | 122                  | a                    | a                    |
|                                       | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 124                  | b                    | 131                  | b                    | 134                  |                      |                      |
|                                       | 100                  | 83                   | 156                  | 88                   | 165                  | 90                   | 169                  |                      |                      |
|                                       | 123                  | 102                  | 193                  | 108                  | 203                  | 111                  | 208                  |                      |                      |
|                                       | 145                  | 120                  | 228                  | 127                  | 240                  | 130                  | 245                  |                      |                      |
|                                       | 170                  | 141                  | 269                  | 149                  | 282                  | 153                  | 288                  |                      |                      |
| Minimum clearing time<br>ms           |                      | 10,0 < t ≤ 27,0      |                      | 27,0 < t ≤ 47,5      |                      | 47,5 < t ≤ 67,5      |                      | 67,5 < t ≤ 88,0      |                      |
|                                       | U <sub>r</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV |
| τ = 60 ms<br>major loop               | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 106                  | b                    | 116                  | b                    | 120                  | b                    | 122                  |
|                                       | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 118                  | b                    | 128                  | b                    | 133                  | b                    | 135                  |
|                                       | 100                  | 79                   | 146                  | 86                   | 159                  | 89                   | 165                  | 91                   | 168                  |
|                                       | 123                  | 98                   | 178                  | 106                  | 195                  | 110                  | 203                  | 112                  | 207                  |
|                                       | 145                  | 115                  | 209                  | 125                  | 229                  | 129                  | 238                  | 132                  | 243                  |
|                                       | 170                  | 135                  | 243                  | 146                  | 267                  | 152                  | 279                  | 154                  | 285                  |
| τ = 60 ms<br>subsequent<br>minor loop | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 107                  | b                    | 115                  | b                    | 120                  | b                    | 122                  |
|                                       | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 117                  | b                    | 126                  | b                    | 131                  | b                    | 134                  |
|                                       | 100                  | 78                   | 149                  | 85                   | 160                  | 88                   | 166                  | 90                   | 168                  |
|                                       | 123                  | 96                   | 184                  | 104                  | 197                  | 108                  | 204                  | 110                  | 207                  |
|                                       | 145                  | 114                  | 217                  | 123                  | 233                  | 128                  | 241                  | 130                  | 245                  |
|                                       | 170                  | 133                  | 256                  | 144                  | 275                  | 150                  | 283                  | 153                  | 287                  |

a Test duty T100a is not applicable, asymmetry level lower than 20 % for both current loops.

b u<sub>1</sub> is not defined for a two parameter TRV.

c Class S1.

d Class S2.

**Table A.4 – Corrected TRV values for the first-pole-to-clear for  $k_{pp} = 1,5$  and  $f_r = 60$  Hz**

| Minimum clearing time<br>ms                                                                  |                      | 8,5 < t ≤ 22,5       |                      | 22,5 < t ≤ 39,5      |                      | 39,5 < t ≤ 56,5      |                      | 56,5 < t ≤ 73,0      |                      | 73,0 < t ≤ 90,0      |                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                                                                              | U <sub>r</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV |
| τ = 45 ms<br>major loop                                                                      | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 109                  | b                    | 117                  | b                    | 121                  | b                    | 123                  | a                    | a                    |
|                                                                                              | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 121                  | b                    | 130                  | b                    | 134                  | b                    | 136                  |                      |                      |
|                                                                                              | 100                  | 81                   | 149                  | 88                   | 161                  | 90                   | 167                  | 91                   | 169                  |                      |                      |
|                                                                                              | 123                  | 100                  | 182                  | 108                  | 198                  | 111                  | 205                  | 112                  | 208                  |                      |                      |
|                                                                                              | 145                  | 118                  | 213                  | 127                  | 232                  | 131                  | 241                  | 132                  | 245                  |                      |                      |
|                                                                                              | 170                  | 138                  | 249                  | 148                  | 271                  | 153                  | 281                  | 155                  | 286                  |                      |                      |
| τ = 45 ms<br>subsequent<br>minor loop                                                        | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 110                  | b                    | 117                  | b                    | 121                  | b                    | 123                  | a                    | a                    |
|                                                                                              | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 120                  | b                    | 128                  | b                    | 132                  | b                    | 134                  |                      |                      |
|                                                                                              | 100                  | 80                   | 152                  | 86                   | 162                  | 89                   | 167                  | 90                   | 169                  |                      |                      |
|                                                                                              | 123                  | 99                   | 188                  | 106                  | 201                  | 109                  | 206                  | 111                  | 209                  |                      |                      |
|                                                                                              | 145                  | 116                  | 223                  | 125                  | 237                  | 129                  | 243                  | 131                  | 246                  |                      |                      |
|                                                                                              | 170                  | 137                  | 263                  | 147                  | 279                  | 151                  | 286                  | 154                  | 289                  |                      |                      |
| Minimum clearing time<br>ms                                                                  |                      | 8,5 < t ≤ 22,5       |                      | 22,5 < t ≤ 39,5      |                      | 39,5 < t ≤ 56,5      |                      | 56,5 < t ≤ 73,0      |                      | 73,0 < t ≤ 90,0      |                      |
|                                                                                              | U <sub>r</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV |
| τ = 60 ms<br>major loop                                                                      | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 101                  | b                    | 11                   | b                    | 117                  | b                    | 120                  | b                    | 122                  |
|                                                                                              | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 112                  | b                    | 123                  | b                    | 129                  | b                    | 133                  | b                    | 135                  |
|                                                                                              | 100                  | 76                   | 137                  | 83                   | 153                  | 87                   | 161                  | 89                   | 165                  | 91                   | 168                  |
|                                                                                              | 123                  | 93                   | 168                  | 102                  | 187                  | 107                  | 197                  | 110                  | 203                  | 111                  | 206                  |
|                                                                                              | 145                  | 109                  | 196                  | 120                  | 219                  | 126                  | 231                  | 130                  | 238                  | 131                  | 243                  |
|                                                                                              | 170                  | 128                  | 228                  | 141                  | 255                  | 148                  | 270                  | 152                  | 279                  | 154                  | 284                  |
| τ = 60 ms<br>subsequent<br>minor loop                                                        | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 103                  | b                    | 112                  | b                    | 118                  | b                    | 120                  | b                    | 122                  |
|                                                                                              | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 112                  | b                    | 123                  | b                    | 129                  | b                    | 132                  | b                    | 134                  |
|                                                                                              | 100                  | 75                   | 143                  | 82                   | 156                  | 86                   | 163                  | 89                   | 167                  | 90                   | 169                  |
|                                                                                              | 123                  | 92                   | 177                  | 101                  | 193                  | 106                  | 201                  | 109                  | 206                  | 111                  | 208                  |
|                                                                                              | 145                  | 109                  | 210                  | 120                  | 228                  | 125                  | 238                  | 128                  | 243                  | 130                  | 246                  |
|                                                                                              | 170                  | 128                  | 249                  | 140                  | 269                  | 147                  | 280                  | 151                  | 285                  | 153                  | 288                  |
| a Test duty T100a is not applicable, asymmetry level lower than 20 % for both current loops. |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| b u <sub>1</sub> is not defined for a two parameter TRV.                                     |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| c Class S1                                                                                   |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| d Class S2                                                                                   |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |

**Table A.5 – Corrected TRV values for the first-pole-to-clear for  $k_{pp} = 1,2$  and  $f_r = 50$  Hz**

| Minimum clearing time<br>ms                 |             | $10,0 < t \leq 27,0$ |             | $27,0 < t \leq 47,0$ |             | $47,0 < t \leq 67,5$ |             | $67,5 < t \leq 87,5$ |             | $87,5 < t \leq 108$ |             |
|---------------------------------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|---------------------|-------------|
|                                             | $U_r$<br>kV | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV | $u_1$<br>kV         | $u_c$<br>kV |
| $\tau = 120$ ms<br>major loop               | 1 100       | 530                  | 871         | 615                  | 1 070       | 671                  | 1 206       | 709                  | 1 304       | 736                 | 1 375       |
|                                             | 1 200       | 574                  | 924         | 667                  | 1 145       | 729                  | 1 297       | 772                  | 1 406       | 801                 | 1 487       |
| $\tau = 120$ ms<br>subsequent<br>minor loop | 1 100       | 597                  | 1 374       | 669                  | 1 491       | 715                  | 1 559       | 746                  | 1 599       | 766                 | 1 623       |
|                                             | 1 200       | 655                  | 1 524       | 733                  | 1 648       | 783                  | 1 719       | 815                  | 1 760       | 837                 | 1 784       |

**Table A.6 – Corrected TRV values for the first-pole-to-clear for  $k_{pp} = 1,2$  and  $f_r = 60$  Hz**

| Minimum clearing time<br>ms                 |                | $8,5 < t \leq 22,5$ |                | $22,5 < t \leq 39,0$ |                | $39,0 < t \leq 56,0$ |                | $56,0 < t \leq 73,0$ |                | $73,0 < t \leq 89,5$ |                | $89,5 < t \leq 106,5$ |                |
|---------------------------------------------|----------------|---------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|-----------------------|----------------|
|                                             | $U_r$<br>kV    | $u_1$<br>kV         | $u_c$<br>kV    | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV    | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV    | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV    | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV    | $u_1$<br>kV           | $u_c$<br>kV    |
| $\tau = 120$ ms<br>major loop               | 1 100<br>1 200 | 483<br>522          | 727<br>760     | 569<br>617           | 931<br>987     | 629<br>683           | 1 077<br>1 150 | 672<br>730           | 1 187<br>1 272 | 704<br>765           | 1 271<br>1 367 | 728<br>792            | 1 336<br>1 440 |
| $\tau = 120$ ms<br>subsequent<br>minor loop | 1 100<br>1 200 | 571<br>628          | 1 373<br>1 531 | 645<br>707           | 1 490<br>1 653 | 693<br>760           | 1 561<br>1 727 | 727<br>796           | 1 605<br>1 772 | 751<br>822           | 1 632<br>1 799 | 768<br>840            | 1 649<br>1 815 |

**Table A.7 – Percentage of DC component and  $di/dr$  at current zero for first-pole-to-clear for  $f_r = 50$  Hz**

| $\tau$<br>ms | Minimum clearing time<br>ms | Major loop        |              | Subsequent minor loop |              |                    |                     |
|--------------|-----------------------------|-------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------------|---------------------|
|              |                             | DC component<br>% | $di/dr$<br>% | DC component<br>%     | $di/dr$<br>% | $I_{peak}$<br>p.u. | loop duration<br>ms |
| 45           | $10,0 < t \leq 27,0$        | 44,6              | 92,7         | 37,9                  | 89,9         | 0,59               | 7,5                 |
|              | $27,0 < t \leq 47,5$        | 28,9              | 97,8         | 24,1                  | 95,3         | 0,74               | 8,5                 |
|              | $47,5 < t \leq 68,0$        | 18,7 <sup>a</sup> | 99,6         | 15,3 <sup>a</sup>     | 97,7         | 0,83               | 9,0                 |
| 60           | $10,0 < t \leq 27,0$        | 54,2              | 86,9         | 48,6                  | 84,8         | 0,49               | 6,5                 |
|              | $27,0 < t \leq 47,5$        | 39,2              | 94,1         | 34,5                  | 92,0         | 0,63               | 7,5                 |
|              | $47,5 < t \leq 67,5$        | 28,3              | 97,4         | 24,6                  | 95,6         | 0,74               | 8,5                 |
|              | $67,5 < t \leq 88,0$        | 20,3              | 99,0         | 17,6 <sup>a</sup>     | 97,5         | 0,81               | 9,0                 |
| 75           | $10,0 < t \leq 27,0$        | 61,0              | 81,8         | 56,4                  | 80,2         | 0,41               | 6,0                 |
|              | $27,0 < t \leq 47,5$        | 47,1              | 90,2         | 42,9                  | 88,5         | 0,55               | 7,0                 |
|              | $47,5 < t \leq 67,5$        | 36,3              | 94,7         | 32,7                  | 93,1         | 0,66               | 8,0                 |
|              | $67,5 < t \leq 87,5$        | 27,9              | 97,2         | 25,0                  | 95,8         | 0,74               | 8,5                 |
|              | $87,5 < t \leq 108,0$       | 21,4              | 98,6         | 19,1 <sup>a</sup>     | 97,3         | 0,80               | 8,5                 |
| 120          | $10,0 < t \leq 27,0$        | 73,1              | 70,2         | 70,2                  | 69,4         | 0,28               | 5,0                 |
|              | $27,0 < t \leq 47,0$        | 62,1              | 80,0         | 59,2                  | 79,0         | 0,39               | 6,0                 |
|              | $47,0 < t \leq 67,5$        | 52,8              | 86,4         | 50,0                  | 85,3         | 0,49               | 6,5                 |
|              | $67,5 < t \leq 87,5$        | 44,8              | 90,6         | 42,2                  | 89,5         | 0,57               | 7,0                 |
|              | $87,5 < t \leq 108,0$       | 38,0              | 93,5         | 35,6                  | 92,4         | 0,63               | 7,5                 |

<sup>a</sup> Percentage of DC component lower than 20 %. Test to be performed without reduction of  $di/dr$  and/or TRV parameters.

**Table A.8 – Percentage of DC component and  $di/dt$  at current zero for first-pole-to-clear for  $f_r = 60$  Hz**

| $\tau$<br>ms | Minimum clearing time<br>ms | Major loop        |              | Subsequent minor loop |              |                    |                     |
|--------------|-----------------------------|-------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------------|---------------------|
|              |                             | DC component<br>% | $di/dt$<br>% | DC component<br>%     | $di/dt$<br>% | $I_{peak}$<br>p.u. | loop duration<br>ms |
| 45           | $8,5 < t \leq 22,5$         | 50,8              | 89,1         | 44,8                  | 86,8         | 0,52               | 5,5                 |
|              | $22,5 < t \leq 39,5$        | 35,4              | 95,6         | 30,6                  | 93,4         | 0,67               | 6,5                 |
|              | $39,5 < t \leq 56,5$        | 24,6              | 98,4         | 21,0                  | 96,5         | 0,77               | 7,0                 |
|              | $56,5 < t \leq 73,0$        | 17,1 <sup>a</sup> | 99,5         | 14,5 <sup>a</sup>     | 98,1         | 0,84               | 7,5                 |
| 60           | $8,5 < t \leq 22,5$         | 59,8              | 82,8         | 55,0                  | 81,1         | 0,43               | 5,0                 |
|              | $22,5 < t \leq 39,5$        | 45,7              | 91,0         | 41,4                  | 89,2         | 0,57               | 6,0                 |
|              | $39,5 < t \leq 56,5$        | 34,8              | 95,3         | 31,2                  | 93,6         | 0,67               | 6,5                 |
|              | $56,5 < t \leq 73,0$        | 26,4              | 97,6         | 23,5                  | 96,2         | 0,75               | 7,0                 |
|              | $73,0 < t \leq 90,0$        | 20,1              | 98,6         | 17,8 <sup>a</sup>     | 97,6         | 0,81               | 7,5                 |
| 75           | $8,5 < t \leq 22,5$         | 66,1              | 77,4         | 62,1                  | 76,2         | 0,36               | 4,5                 |
|              | $22,5 < t \leq 39,5$        | 53,2              | 86,5         | 49,5                  | 85,1         | 0,49               | 5,5                 |
|              | $39,5 < t \leq 56,0$        | 42,8              | 91,9         | 39,5                  | 90,5         | 0,59               | 6,0                 |
|              | $56,0 < t \leq 73,0$        | 34,4              | 95,1         | 31,5                  | 93,8         | 0,67               | 6,5                 |
|              | $73,0 < t \leq 90,0$        | 27,6              | 97,1         | 25,2                  | 95,9         | 0,74               | 7,0                 |
|              | $90,0 < t \leq 106,5$       | 22,2              | 98,3         | 20,1                  | 97,3         | 0,79               | 7,0                 |
| 120          | $8,5 < t \leq 22,5$         | 77,0              | 65,6         | 74,6                  | 64,9         | 0,24               | 4,0                 |
|              | $22,5 < t \leq 39,0$        | 67,2              | 75,6         | 64,7                  | 74,8         | 0,34               | 4,5                 |
|              | $39,0 < t \leq 56,0$        | 58,6              | 82,2         | 56,2                  | 81,5         | 0,43               | 5,0                 |
|              | $56,0 < t \leq 73,0$        | 51,1              | 87,1         | 48,8                  | 86,2         | 0,50               | 5,5                 |
|              | $73,0 < t \leq 89,5$        | 44,6              | 90,5         | 42,4                  | 89,6         | 0,57               | 6,0                 |
|              | $89,5 < t \leq 106,5$       | 38,8              | 93,0         | 36,9                  | 92,2         | 0,62               | 6,5                 |

<sup>a</sup> Percentage of DC component lower than 20 %. Test to be performed without reduction of  $di/dt$  and/or TRV parameters.

#### A.4 Correction of the $di/dt$ and TRV of the first-pole-to-clear for tests with intermediate asymmetry

For the last current loop parameters including  $di/dt$ , refer to Table E.12 through Table E.17.

The RRRV and TRV peak can be calculated by multiplying the parameters for the first pole-to-clear under symmetrical condition by the percentage reduction of  $di/dt$  at current zero after the intermediate major loop, given in column 9 of Table E.12 through Table E.17.

## A.5 Correction of the $di/dt$ and TRV of the second- or last-pole-to-clear with major extended loop with required asymmetry during three-phase tests

For the last current loop parameters including  $di/dt$ , refer to Table E.12 through Table E.17.

The RRRV and TRV peak can be calculated by multiplying the parameters for the second or last pole-to-clear under symmetrical condition by the ratio between the reduced  $di/dt$  at current zero after the major extended loop, given in column 12 of Table E.12 through Table E.17 and the  $di/dt$  at current zero of the symmetrical short-circuit current of the second- or last-pole-to-clear with extended loop given in Table 3 through Table 5.

## A.6 Correction of the $di/dt$ and TRV during tests with a subsequent minor loop

For single-phase tests, the TRV for the subsequent minor loop shall be applied for the same pole-to-clear-factor as the failed major loop. The TRV values for the subsequent minor loop in case of a first-pole-to-clear can be derived from Table A.1 through Table A.6 or can be calculated according to subclause A.7.

NOTE This test procedure reproduces the conditions during single-phase direct test which sufficiently covers the TRV conditions during three-phase test.

For three-phase tests, the phase with subsequent minor loop becomes the last-pole-to-clear. The corresponding parameters for the last-pole-to-clear for symmetrical conditions shall be applied without any further correction.

## A.7 Calculation of the $di/dt$ and TRV of the first-pole-to-clear

### A.7.1 General

Clause A.7 is applicable for asymmetrical fault conditions, on the phase with required asymmetry only, when values are not given in Table A.1 through Table A.6, and Table E.12 through Table E.17.

### A.7.2 Calculation of $di/dt$

For the  $di/dt$ , the maximum value is reached for symmetrical fault condition. During asymmetrical fault condition, the  $di/dt$  is reduced and is a function of the DC component at current zero. The  $di/dt$  at current zero is calculated by the following equations:

a) For minor loops:

$$\frac{di}{dt}(\text{p.u.})_- = \sqrt{(1-p^2)} - \frac{p}{2\pi f\tau} \quad (\text{A.1})$$

b) For major loops:

$$\frac{di}{dt}(\text{p.u.})_+ = \sqrt{(1-p^2)} + \frac{p}{2\pi f\tau} \quad (\text{A.2})$$

where

$di/dt(\text{p.u.})$  is the  $di/dt$  in p.u. of the symmetrical fault condition;

– is the index used to designate the minor loop;

– is the index used to designate the major loop;

$p$  is the DC component at current zero in p.u.;

$f$  is the frequency (Hz);

$\tau$  is the DC time constant of the short-circuit current (s).

### A.7.3 Calculation of TRV

When the interruption occurs, the moment of current zero does not correspond with the peak of the applied voltage as it is the case during symmetrical fault condition. The DC component modifies the angular displacement between current zeros and the applied power-frequency voltage. The TRV amplitude co-ordinates ( $u_1$ ,  $u_c$ ) are then modified according to the phase shift between the moment of current zero and the peak of the applied power-frequency voltage.

The corresponding TRV amplitude co-ordinates ( $u_1$ ,  $u_c$ ) shall be calculated with the following equations:

a) Two parameter TRV:

$$u_c(\text{p.u.}) = \frac{k_1 A_1}{2\pi f} \quad (\text{A.3})$$

and

$$k_{1-} = \sin(2\pi f t_3 - \arcsin(p)) + p \times e^{-\frac{t_3}{\tau}} \quad (\text{for the minor loop}) \quad (\text{A.4})$$

$$k_{1+} = \sin(2\pi f t_3 + \arcsin(p)) - p \times e^{-\frac{t_3}{\tau}} \quad (\text{for the major loop}) \quad (\text{A.5})$$

$$A_1 = \frac{2\pi f}{\sin(2\pi f t_3)} \quad (\text{A.6})$$

where

$u_c$  is the TRV peak in p.u. of the symmetrical case;

$k_1$  is the calculation constant;

– is the index used to designate the minor loop;

+ is the index used to designate the major loop;

$A_1$  is the calculation variable;

$p$  is the DC component at current zero in p.u.;

$f$  is the frequency (Hz);

$\tau$  is the DC time constant of the short-circuit current (s);

$t_3$  is the specified  $t_3$  time co-ordinate (s).

b) Four parameter TRV:

$$u_1(\text{p.u.}) = \frac{k_1 A_1}{2\pi f} \quad (\text{A.7})$$

and

$$k_{1-} = \sin(2\pi f t_1 - \arcsin(p)) + p \times e^{-\frac{t_1}{\tau}} \quad (\text{for the minor loop}) \quad (\text{A.8})$$

$$k_{1+} = \sin(2\pi f t_1 + \arcsin(p)) - p \times e^{-\frac{t_1}{\tau}} \quad (\text{for the major loop}) \quad (\text{A.9})$$

$$A_1 = \frac{2\pi f}{\sin(2\pi f t_1)} \quad (\text{A.10})$$

where

$u_1$  is the TRV peak in p.u. of the symmetrical case;

$k_1$  is the calculation constant;

– is the index used to designate the minor loop;

+ is the index used to designate the major loop;

$A_1$  is the calculation variable;

$p$  is the DC component at current zero in p.u.;

$f$  is the frequency (Hz);

$\tau$  is the DC time constant of the short-circuit current (s);

$t_1$  is the specified  $t_1$  time co-ordinate (s).

and

$$u_c(\text{p.u.}) = \frac{k_2 A_1}{\frac{1}{0,75} k_{af} \times 2\pi f} - \frac{k_3 A_2}{\frac{0,75 \times k_2 A_1}{k_{af} \times 2\pi f} - \frac{k_3 A_2}{2\pi f}} \quad (\text{A.11})$$

and

$$k_{2-} = \sin(2\pi f t_2 - \arcsin(p)) + p \times e^{-\frac{t_2}{\tau}} \quad (\text{for the minor loop}) \quad (\text{A.12})$$

$$k_{2+} = \sin(2\pi f t_2 + \arcsin(p)) - p \times e^{-\frac{t_2}{\tau}} \quad (\text{for the major loop}) \quad (\text{A.13})$$

$$k_{3-} = \sin(2\pi f (t_2 - t_1) - \arcsin(p)) + p \times e^{-\frac{(t_2 - t_1)}{\tau}} \quad (\text{for the minor loop}) \quad (\text{A.14})$$

$$k_{3+} = \sin(2\pi f (t_2 - t_1) + \arcsin(p)) - p \times e^{-\frac{(t_2 - t_1)}{\tau}} \quad (\text{for the major loop}) \quad (\text{A.15})$$

$$A_1 = \frac{2\pi f}{\sin(2\pi f t_1)} \quad (\text{A.16})$$

$$A_2 = \frac{\frac{A_1 \sin(2\pi f t_2)}{\frac{1}{0,75} k_{af}} - 2\pi f}{\sin(2\pi f (t_2 - t_1))} = \frac{\frac{0,75 \times A_1 \sin(2\pi f t_2)}{k_{af}} - 2\pi f}{\sin(2\pi f (t_2 - t_1))} \quad (\text{A.17})$$

where

- $u_c$  is the TRV peak in p.u. of the symmetrical case;
- $k_{af}$  is the amplitude factor;
- $k_2$  is the calculation variable;
- $k_3$  is the calculation variable;
- is the index used to designate the minor loop;
- is the index used to designate the major loop;
- $A_1$  is the calculation variable;
- $A_2$  is the calculation variable;
- $p$  is the DC component at current zero in p.u.;
- $f$  is the frequency (Hz);
- $\tau$  is the DC time constant of the short-circuit current (s);
- $t_1$  is the specified  $t_1$  time co-ordinate (s);
- $t_2$  is the specified  $t_2$  time co-ordinate (s).

#### A.7.4 Examples of calculation of $di/dt$ and TRV

As an example, the following parameters are considered:

|                                                  |       |             |
|--------------------------------------------------|-------|-------------|
| – rated voltage:                                 |       | 145 kV      |
| – rated frequency:                               |       | 50 Hz       |
| – rated short-circuit current:                   |       | 40 kA       |
| – DC time constant of the short-circuit current: |       | 45 ms       |
| – rated first-pole-to-clear factor:              |       | 1,3         |
| – minimum clearing time:                         |       | 43 ms       |
| – TRV (symmetrical case):                        | $u_1$ | 115 kV      |
|                                                  | $t_1$ | 58 $\mu$ s  |
|                                                  | $u_c$ | 215 kV      |
|                                                  | $t_2$ | 232 $\mu$ s |

For the first-pole-to-clear (major loop), the following parameters apply according to:

- Table A.7 percentage of the DC component at current zero: 28,9 % (0,289 p.u.);
- Table A.7 percentage of  $di/dt$  at current zero: 97,8 % (0,978 p.u.).

Some circuit-breakers will not clear at the end of a major loop after the required arcing time. For the subsequent minor current loop, the following parameters apply according to:

- Table A.7 percentage of the DC component at current zero: 24,1 % (0,241 p.u.)
- Table A.7 percentage of  $di/dt$  at current zero: 95,3 % (0,953 p.u.).

The following values are calculated from the previous equations:

$$k_{1-} = 0,017\ 41;$$

$$k_{1+} = 0,017\ 77;$$

$$A_1 = 17\ 242,33;$$

$$u_{1-} = 0,955\ 68\ \text{p.u.};$$

$$u_{1+} = 0,975\ 13\ \text{p.u.};$$

$$k_{2-} = 0,070\ 07;$$

$$k_{2+} = 0,070\ 43;$$

$$k_{3-} = 0,052\ 46;$$

$$k_{3+} = 0,052\ 99;$$

$$A_2 = 6\ 561,19;$$

$$u_{c-} = 0,964\ 81\ \text{p.u.};$$

$$u_{c+} = 0,964\ 19\ \text{p.u.}$$

With these results, the resultant modified  $di/dt$  and TRV to be applied to the circuit-breaker are:

a) For the major loop:

$$di/dt = 0,978\ \text{p.u.} \times 40\ \text{kA} \times \sqrt{2} \times 2\pi f = 17,38\ \text{A}/\mu\text{s};$$

$$u_1 = 0,975\ 13\ \text{p.u.} \times 115\ \text{kV} = 112\ \text{kV};$$

$$t_1 = 58\ \mu\text{s};$$

$$u_1/t_1 = 1,93\ \text{kV}/\mu\text{s}$$

$$u_c = 0,964\ 19\ \text{p.u.} \times 215\ \text{kV} = 207\ \text{kV};$$

$$t_2 = 232\ \mu\text{s}.$$

b) For the subsequent minor loop:

$$di/dt = 0,953\ \text{p.u.} \times 40\ \text{kA} \times \sqrt{2} \times 2\pi f = 16,93\ \text{A}/\mu\text{s};$$

$$u_1 = 0,955\ 68\ \text{p.u.} \times 115\ \text{kV} = 110\ \text{kV};$$

$$t_1 = 58\ \mu\text{s};$$

$$u_1/t_1 = 1,89\ \text{kV}/\mu\text{s}$$

$$u_c = 0,964\ 81\ \text{p.u.} \times 215\ \text{kV} = 207\ \text{kV};$$

$$t_2 = 232\ \mu\text{s}.$$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-101:2021

## **Annex B**

(normative)

### **Tolerances on test quantities for type tests**

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

- tolerances on test quantities which directly determine the stress on the test object;
- tolerances concerning features or the behaviour of the test object before and after the test;
- tolerances on test conditions;
- tolerances concerning parameters of measurement devices to be applied.

In Table B.1, only tolerances on test quantities are considered.

A tolerance is defined as the range of the test value specified in this document within which the measured test value should lie for a test to be valid. In certain cases, the test can remain valid even if the measured value falls outside the tolerance.

Any deviation of the measured test value and the true test value caused by the uncertainty of the measurement are not taken into account in this respect.

The basic rules for application of tolerances on test quantities during type tests are as follows.

- a) Testing stations shall aim wherever possible for the test values specified.
- b) The tolerances on test quantities specified shall be observed by the testing station. Higher stresses of the circuit-breaker exceeding those tolerances are permitted only with the consent of the manufacturer. Lower stresses render the test invalid.
- c) Where, for any test quantity, no tolerance is given within this document, the tolerances of IEC 62271-100:2021 apply. The upper stress limits are subject to the consent of the manufacturer.
- d) If, for any test quantity, only one limit is given, the other limit shall be considered to be as close as possible to the specified value.

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

| Designation of the test       | Test quantity                                         | Specified test value                                                        | Test tolerances/<br>limits of test values |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Basic short-circuit test duty | dI/dt at current zero for T10 <sup>a</sup>            | 10 % of dI/dt at current zero of rated short-circuit breaking current       | ±20 %                                     |
|                               | dI/dt at current zero for T30 <sup>a</sup>            | 30 % of dI/dt at current zero of rated short-circuit breaking current       | ±20 %                                     |
|                               | dI/dt at current zero for T60 <sup>a</sup>            | 60 % of dI/dt at current zero of rated short-circuit breaking current       | ±10 %                                     |
|                               | dI/dt at current zero in T100s and T100a <sup>a</sup> | dI/dt at current zero of rated short-circuit breaking current               | +5 %<br>0                                 |
| Critical current tests        | dI/dt at current zero <sup>a</sup>                    | dI/dt at current zero of current defined in 7.108.1.2 of IEC 62271-100:2021 | ±20 %                                     |
| Double earth fault tests      | dI/dt at current zero <sup>a</sup>                    | 87 % of dI/dt at current zero of rated short-circuit breaking current       | +5 %<br>0                                 |
| Demonstration of arcing times | Medium arcing time $t_{arc\ med}$                     | As defined in 7.104                                                         | ±1 ms                                     |
|                               | Maximum arcing time $t_{arc\ max}$                    | As defined in 7.104                                                         | +0,5 ms<br>-1                             |
|                               | Arcing times                                          | As defined in 7.104.3.101                                                   | ±1 ms                                     |
|                               | Maximum arcing time first-pole-to-clear $t_{arc1}$    | As defined in 7.104.2.2 and 7.104.3.3                                       | +0,5 ms<br>-1                             |
|                               | Maximum arcing time last-pole-to-clear $t_{arc2}$     | As defined in 7.104.2.2 and 7.104.3.3                                       | +0,5 ms<br>-1                             |
|                               | Maximum arcing time second-pole-to-clear $t_{arc3}$   | As defined in 7.104.2.2 and 7.104.3.3                                       | +0,5 ms<br>-1                             |

| Designation of the test                                                     | Test quantity                                                 | Specified test value                                                | Test tolerances/<br>limits of test values |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Short-line fault tests                                                      | Breaking current for $L_{90}^a$                               | 90 % of the rated short-circuit current                             | 90 % to 95 %                              |
|                                                                             | $di/dt$ at current zero for $L_{90}^a$                        | $di/dt$ at current zero of rated short-circuit breaking current     | 90 % to 92 %                              |
|                                                                             | Rate of rise of the source side recovery voltage for $L_{90}$ | 90 % of the rate of rise given in Table 30 of IEC 62271-100:2021    | +5 %<br>0                                 |
|                                                                             | $di/dt$ at current zero for $L_{75}^a$                        | $di/dt$ at current zero of rated short-circuit breaking current     | 71 % to 79 %                              |
|                                                                             | Rate-of-rise of the source side recovery voltage for $L_{75}$ | 75 % of the rate of rise given in Table 30 of IEC 62271-100:2021    | +5 %<br>0                                 |
|                                                                             | $di/dt$ at current zero for $L_{60}^a$                        | $di/dt$ at current zero of rated short-circuit breaking current     | 55 % to 65 %                              |
|                                                                             | Rate-of-rise of the source side recovery voltage for $L_{60}$ | 60 % of the rate of rise given in Table 30 of IEC 62271-100:2021    | +5 %<br>0                                 |
|                                                                             | Maximum arcing time first-pole-to-clear                       | As defined in Table D.1 to Table D.10                               | +0,5 ms<br>-1                             |
| Annex D                                                                     | Medium arcing time                                            | As defined in Table D.1 to Table D.10                               | ±1 ms                                     |
|                                                                             | Minimum arcing time second-pole-to-clear                      | As defined in Table D.1 to Table D.10                               | ±1 ms                                     |
|                                                                             | Maximum arcing time second-pole-to-clear                      | As defined in Table D.1 to Table D.10                               | +0,5 ms<br>-1                             |
|                                                                             | Arcing time of Od during Od Cd Os                             | Minimum arcing time first pole-to-clear                             | ±2 ms                                     |
| Annex E                                                                     | Maximum arcing time first-pole-to-clear                       | As defined in Table E.1 to Table E.11                               | +0,5 ms<br>-1                             |
|                                                                             | Medium arcing time                                            | As defined in Table E.1 to Table E.11                               | ±1 ms                                     |
|                                                                             | Minimum arcing time second-pole-to-clear                      | As defined in Table E.1 to Table E.11                               | ±1 ms                                     |
|                                                                             | Maximum arcing time second-pole-to-clear                      | As defined in Table E.1 to Table E.11                               | +0,5 ms<br>-1                             |
| Out-of-phase making and breaking tests                                      | Arcing time of Od during Od Cd Os                             | Minimum arcing time first pole-to-clear                             | ±2 ms                                     |
|                                                                             | $di/dt$ at current zero for OP1 <sup>a</sup>                  | $di/dt$ at current zero of 30 % rated out-of-phase breaking current | ±20 %                                     |
|                                                                             | $di/dt$ at current zero for OP2 <sup>a</sup>                  | $di/dt$ at current zero of rated out-of-phase breaking current      | +10 %<br>0                                |
| Capacitive current switching tests                                          | Frequency of the breaking current                             | Rated frequency                                                     | 45 Hz to 65 Hz                            |
| <sup>a</sup> These tolerances apply to current injection test circuit only. |                                                               |                                                                     |                                           |

## **Annex C**

(normative)

### **Information to be given and results to be recorded for synthetic tests**

#### **C.1 General**

In addition to the requirements specified in Annex C of IEC 62271-100:2021, the following information shall be given in reports on synthetic tests.

#### **C.2 Auxiliary circuit-breaker**

- a) Identification.
- b) Description, including the number of units per pole, extinguishing medium and grading capacitors, if any.

#### **C.3 Test conditions**

- a) Parameters of test circuits.
- b) Setting of the intended arcing time of the test circuit-breaker including application of re-ignition circuit(s).

#### **C.4 Quantities to be recorded**

##### **C.4.1 General**

The resolution of the records with respect to the deflection and the time scale shall be such that the information to be obtained can be evaluated with sufficient accuracy.

##### **C.4.2 Voltages**

- a) Voltage of the current circuit.
- b) Voltage across the test circuit-breaker.
- c) Voltage to enclosure for the test circuit-breaker when applicable.

##### **C.4.3 Currents**

- a) Current through the test circuit-breaker.
- b) Current from the voltage circuit.

NOTE Other information and records are added to obtain test or design data.

## Annex D

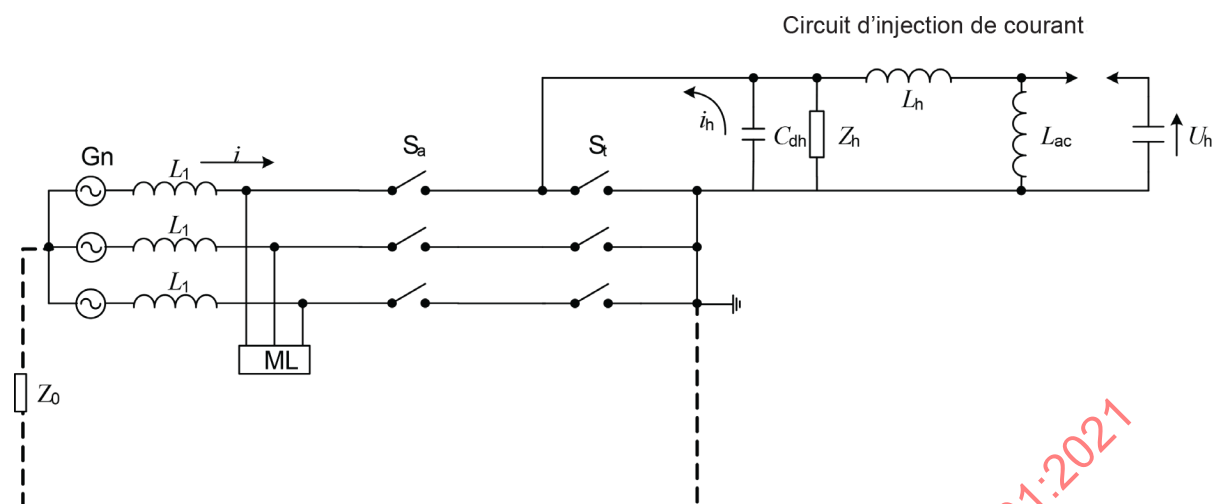
(normative)

### Test procedure using a three-phase current circuit and one voltage circuit

#### D.1 Test circuit

The circuit-breaker shall be connected in a test circuit, an example of which is given in Figure D.1 with the following requirements.

- a) A three-phase current circuit with the neutral point of the supply isolated and the short-circuit point earthed as shown in Figure 27a of IEC 62271-100:2021. This gives a first-pole-to-clear factor of 1,5. Alternatively, the neutral point of the supply can be connected to earth by an appropriate impedance and the short-circuit point earthed, as shown in Figure 28a of IEC 62271-100:2021, to give a first-pole-to-clear factor of 1,3.
- b) An auxiliary circuit-breaker used to disconnect the current circuit from the voltage circuit.
- c) A parallel current-injection voltage circuit is shown in Figure 145 of IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018. This circuit is used to apply the TRV and the recovery voltage. It is connected between the pole representing the pole-to-clear and earth as required by the test procedures given in Table D.1 through Table D.10. It is possible to provide AC power-frequency recovery voltage by use of additional impedance,  $L_{ac}$ .
- d) Re-ignition circuits connected to each phase to prolong the arcing of the test circuit-breaker through the necessary number of zeros of the power-frequency current.



IEC

**Key**

|       |                                                                                |          |                                                            |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------|
| Gn    | three-phase current circuit                                                    | $Z_h$    | equivalent surge impedance of voltage circuit              |
| $S_a$ | auxiliary circuit-breaker                                                      | $C_{dh}$ | capacitance for time delay of voltage circuit              |
| $S_t$ | test circuit-breaker                                                           | $L_h$    | inductance of voltage circuit                              |
| $Z_0$ | impedance in the neutral connection (when circuit with $k_{pp} = 1,3$ is used) | $U_h$    | charging voltage of voltage circuit                        |
| $L_1$ | inductance of current circuit                                                  | $i$      | current of current circuit                                 |
| ML    | multi-loop re-ignition circuit                                                 | $i_h$    | injected current                                           |
|       |                                                                                | $L_{ac}$ | additional reactance when AC recovery voltage is requested |

The voltage circuit shall be connected between the first or last-pole-to-clear and earth.

**Figure D.1 – Example of a three-phase current circuit with single-phase synthetic injection**

## D.2 Test method

### D.2.1 General

A combination of the first-pole-to-clear factors of 1,5 and 1,3 in accordance with 7.104.3.4 of IEC 62271-100:2021, while splitting the test-duties taking into account the associated TRV for each pole-to-clear at the same time can be made according to D.2.4.

The aim of this test sequence is to show at least 3 successful operations with the associated TRV at the same pole.

### D.2.2 Test duty T100s(b)

The three-phase test procedures for demonstration of arcing times according to 7.104.3.2 of IEC 62271-100:2021 are given in Table D.1 and Table D.2 for a first-pole-to-clear factor of 1,5 and in Table D.3 and Table D.4 for a first-pole-to-clear factor of 1,3.

If a failure occurs while demonstrating the maximum or medium arcing times using the procedure of Table D.1 or Table D.3, then it is permissible to continue testing using the test procedure of Table D.2 or Table D.4. In this case, provided no re-conditioning of the circuit-breaker has taken place, the tests demonstrating minimum arcing time on the first-pole-to-clear can be omitted.

**Table D.1 – Demonstration of arcing times for  $k_{pp} = 1,5$**

| Test no. | Test sequence <sup>a</sup> | Arc duration<br>(additional to $t_{arc\ min}$ of the first-pole-to-clear for the phase subjected to the TRV) <sup>b</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)     | TRV                                                                |                     | Injected current $di/dr$<br>% |
|----------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------|
|          |                            |                                                                                                                           |                                                                  | Application<br>(with reference to the three-phase current circuit) | $u_c$ value<br>p.u. |                               |
| 1        | Os                         | 0                                                                                                                         | $t_{arc\ min}$ on the first-pole-to-clear                        | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 100                           |
| 2        | Os                         | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                           | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm $t_{arc\ min}$ | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 100                           |
| 3        | Od- $t$ -CdOs              | $T \times 132^\circ / 360^\circ$<br>( $T \times 42^\circ / 360^\circ$ related to the first-pole-to-clear)                 | $t_{arc\ max}$ on the last-pole-to-clear <sup>c</sup>            | last-pole-to-clear with extended loop                              | 1,0                 | 100                           |
| 4        | CdOs                       | $T \times 66^\circ / 360^\circ$                                                                                           | $t_{arc\ med}$ <sup>c</sup>                                      | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 100                           |

Demonstration of the arcing times as per 7.104.3.2 of IEC 62271-100:2021.

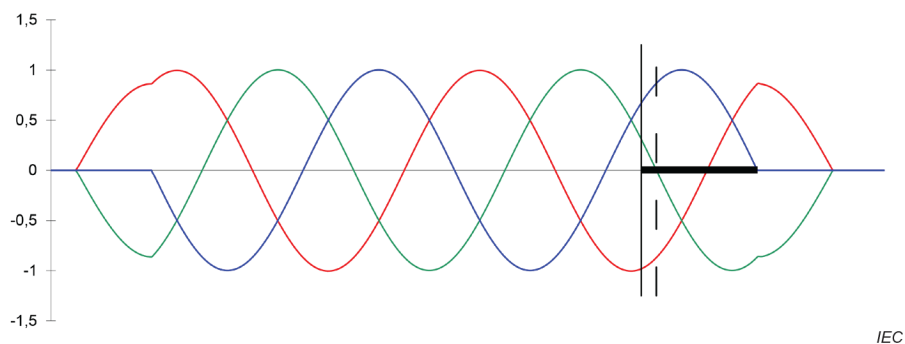
Interrupting window as per Figure 41 of IEC 62271-100:2021.

Figure D.2 gives a representation of the testing conditions.

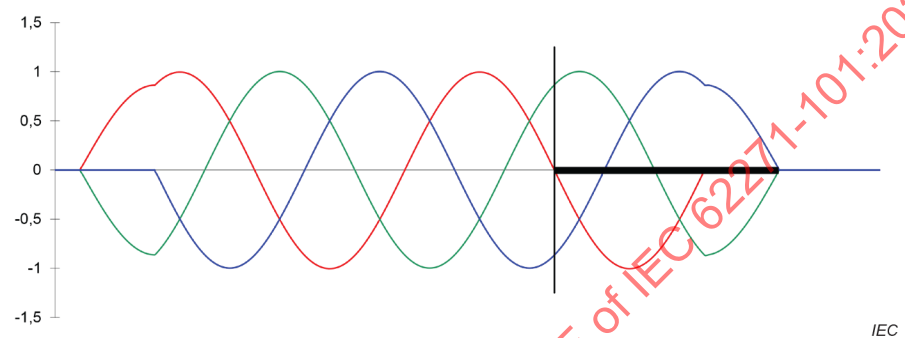
<sup>a</sup> Abbreviated terms are in accordance with Table 6.

<sup>b</sup> Where  $d\alpha = 18^\circ$ .

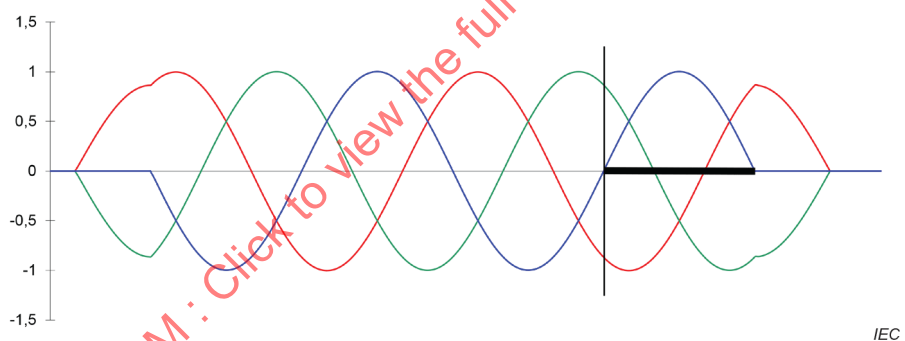
<sup>c</sup> Arcing times for test 3 and test 4 can be interchanged.



**Tests No. 1 and No. 2: Application of the TRV on the first-pole-to-clear**



**Test No. 3: Application of the TRV on the last-pole-to-clear with extended loop**



**Test No. 4: Application of the TRV on the first pole to clear**

**Figure D.2 – Representation of the testing conditions of Table D.1**

**Table D.2 – Alternative demonstration of arcing times for  $k_{pp} = 1,5$**

| Test no. | Test sequence <sup>a</sup> | Arc duration<br>(additional to $t_{arc\ min}$ of the first-pole-to-clear for the phase subjected to the TRV) <sup>b</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)         | TRV                                                                |                        | Injected current<br>$di/dt$<br>% |
|----------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------|
|          |                            |                                                                                                                           |                                                                      | Application<br>(with reference to the three-phase current circuit) | $u_c$<br>value<br>p.u. |                                  |
| 1        | Os                         | 0                                                                                                                         | $t_{arc\ min}$ on the first-pole-to-clear                            | first-pole-to-clear                                                | 1,0                    | 100                              |
| 2        | Os                         | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                           | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm the $t_{arc\ min}$ | first-pole-to-clear                                                | 1,0                    | 100                              |
| 3        | Od- $t$ -CdOs              | $T \times 42^\circ / 360^\circ$                                                                                           | $t_{arc\ max}$ on the first-pole-to-clear                            | first-pole-to-clear                                                | 1,0                    | 100                              |
| 4        | Os                         | $T \times 90^\circ / 360^\circ$                                                                                           | $t_{arc\ min}$ on the last-pole-to-clear                             | last-pole-to-clear with extended loop                              | 0,58                   | 87                               |
| 5        | CdOs                       | $T \times 132^\circ / 360^\circ$                                                                                          | $t_{arc\ max}$ on the last-pole-to-clear                             | last-pole-to-clear with extended loop                              | 0,58                   | 87                               |

Demonstration of the arcing times as per 7.104.3.5 of IEC 62271-100:2021.

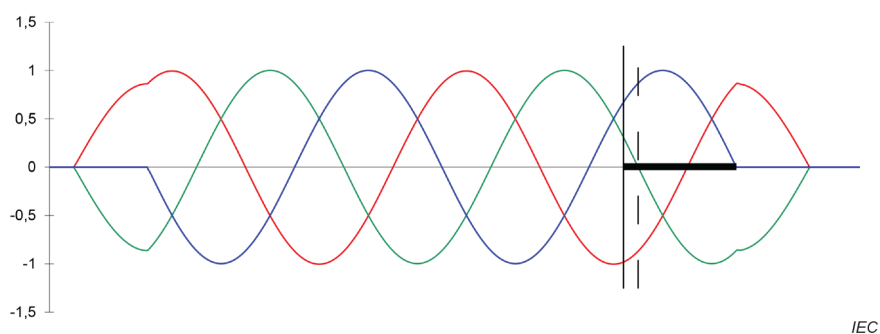
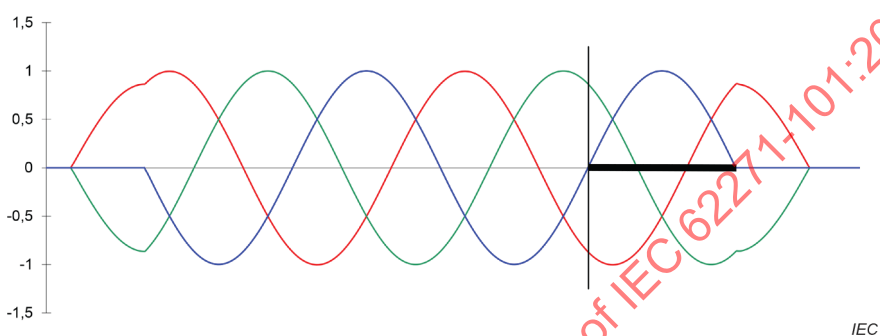
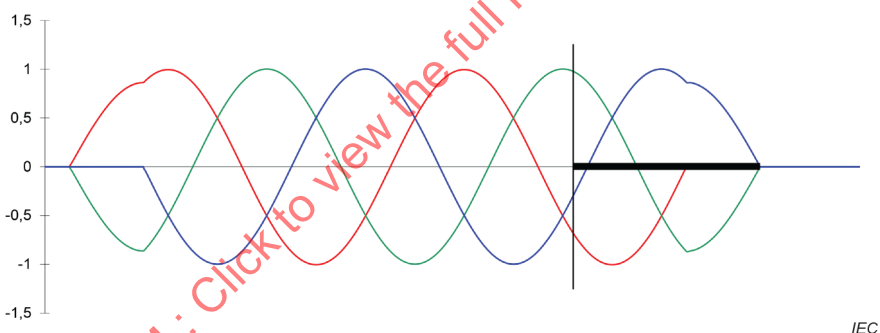
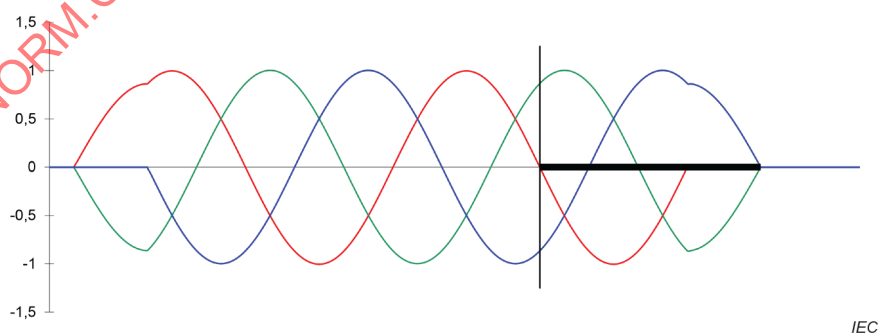
Interrupting window as per Figure 41 of IEC 62271-100:2021.

In case of failure during test 5, the circuit-breaker can be reconditioned and test 3 to test 5 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

Figure D.3 gives a representation of the testing conditions.

<sup>a</sup> Abbreviated terms are in accordance with Table 6.

<sup>b</sup> Where  $d\alpha = 18^\circ$

**Tests No. 1 and No. 2: Application of the TRV on the first-pole-to-clear****Test No. 3: Application of the TRV on the first-pole-to-clear****Test No. 4: Application of the TRV on the last-pole-to-clear with extended loop****Test No. 5: Application of the TRV on the last-pole-to-clear with extended loop****Figure D.3 – Representation of the testing conditions of Table D.2**

**Table D.3 – Demonstration of arcing times for  $k_{pp} = 1,3$**

| Test no. | Test sequence <sup>a</sup> | Arc duration<br>(additional to $t_{\text{arc min}}$ of the first-pole-to-clear for the phase subjected to the TRV) <sup>b</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)               | TRV                                                                |                     | Injected current<br>$di/dr$<br>% |
|----------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------|
|          |                            |                                                                                                                                 |                                                                            | Application<br>(with reference to the three-phase current circuit) | $u_c$ value<br>p.u. |                                  |
| 1        | Os                         | 0                                                                                                                               | $t_{\text{arc min}}$ on the first-pole-to-clear                            | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 100                              |
| 2        | Os                         | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                                 | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm the $t_{\text{arc min}}$ | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 100                              |
| 3        | Od- <i>t</i> -CdOs         | $T \times 162^\circ / 360^\circ$<br><br>( $T \times 42^\circ / 360^\circ$ related to the first-pole-to-clear)                   | $t_{\text{arc max}}$ on the third-pole-to-clear <sup>c</sup>               | third-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 100                              |
| 4        | CdOs                       | $T \times 81^\circ / 360^\circ$<br><br>( $T \times 4^\circ / 360^\circ$ related to the first-pole-to-clear)                     | $t_{\text{arc med}}$ <sup>c</sup>                                          | second-pole-to-clear                                               | 1,0                 | 100                              |

Demonstration of the arcing times as per 7.104.3.2 of IEC 62271-100:2021.

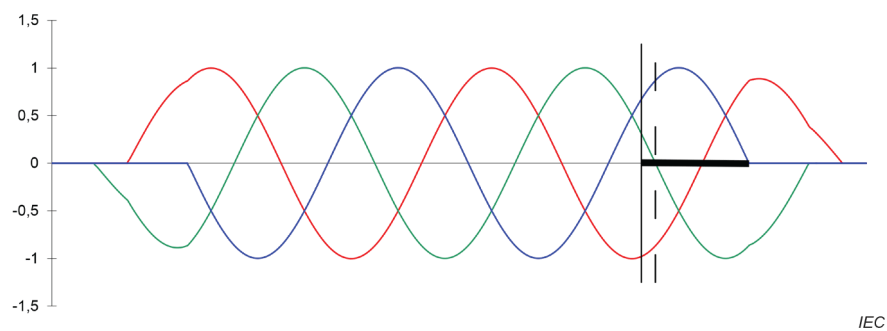
Interrupting window as per Figure 40 of IEC 62271-100:2021.

Figure D.4 gives a representation of the testing conditions.

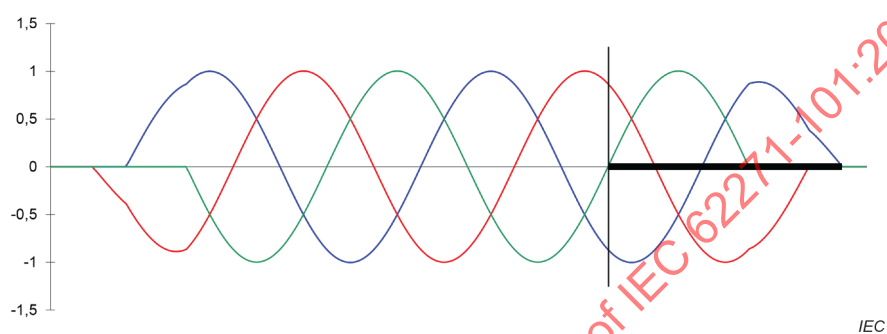
<sup>a</sup> Abbreviations are in accordance with Table 6.

<sup>b</sup> Where  $d\alpha = 18^\circ$ .

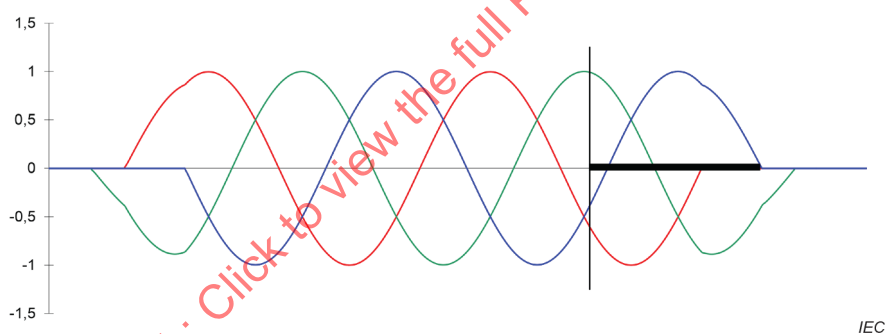
<sup>c</sup> Arcing times for test 3 and test 4 can be interchanged.



**Tests No. 1 and No. 2: Application of the TRV on the first-pole-to-clear**



**Test No. 3: Application of the TRV on the third-pole-to-clear**



**Test No. 4: Application of the TRV on the second-pole-to-clear**

**Figure D.4 – Representation of the testing conditions of Table D.3**

**Table D.4 – Alternative demonstration of arcing times for  $k_{pp} = 1,3$**

| Test no. | Test sequence <sup>a</sup> | Arc duration<br>(additional to $t_{arc \min}$ of the first-pole-to-clear for the phase subjected to the TRV) <sup>b</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)     | TRV                                                                |                     | Injected current<br>(di/dr)<br>% |
|----------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------|
|          |                            |                                                                                                                           |                                                                  | Application<br>(with reference to the three-phase current circuit) | $u_c$ value<br>p.u. |                                  |
| 1        | Os                         | 0                                                                                                                         | $t_{arc \min}$ on the first-pole-to-clear                        | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 100                              |
| 2        | Os                         | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                           | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm $t_{arc \min}$ | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 100                              |
| 3        | (Cd)Os                     | $T \times 42^\circ / 360^\circ$                                                                                           | $t_{arc \max}$ on the first-pole-to-clear                        | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 100                              |
| 4        | Od–t–CdOs                  | $T \times 77^\circ / 360^\circ$                                                                                           | $t_{arc \min}$ on the second-pole-to-clear <sup>c</sup>          | second-pole-to-clear                                               | 0,97                | 89                               |
| 5        | CdOs                       | $T \times 119^\circ / 360^\circ$                                                                                          | $t_{arc \max}$ on the second-pole-to-clear <sup>c</sup>          | second-pole-to-clear                                               | 0,97                | 89                               |
| 6        | (Cd)Os                     | $T \times 162^\circ / 360^\circ$                                                                                          | $t_{arc \max}$ on the third-pole-to-clear                        | third-pole-to-clear                                                | 0,77                | 57                               |

Demonstration of the arcing times as per 7.104.3.5 of IEC 62271-100:2021.

Interrupting window as per Figure 40 of IEC 62271-100:2021.

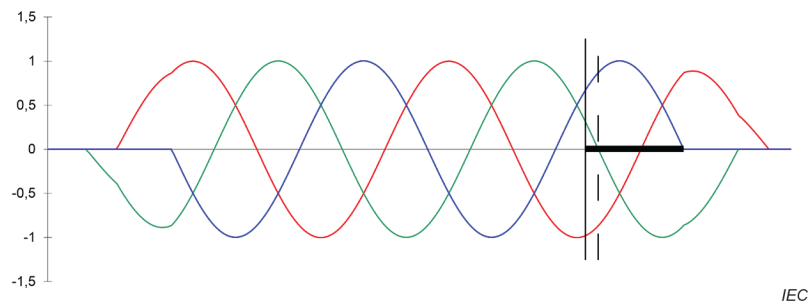
Figure D.5 gives a representation of the testing conditions.

In case of failure during test 5 or 6, the circuit-breaker can be reconditioned and test 4 to test 6 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

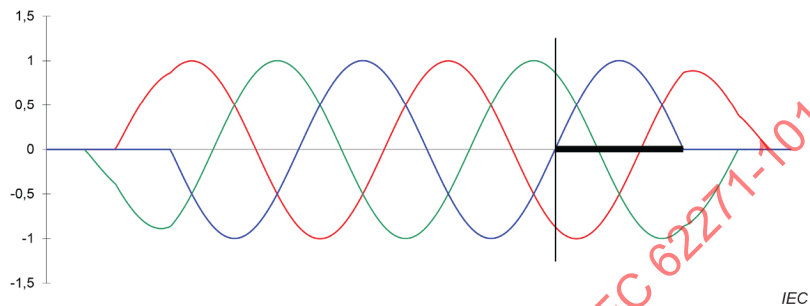
<sup>a</sup> Abbreviated terms are in accordance with Table 6.

<sup>b</sup> Where  $d\alpha = 18^\circ$ .

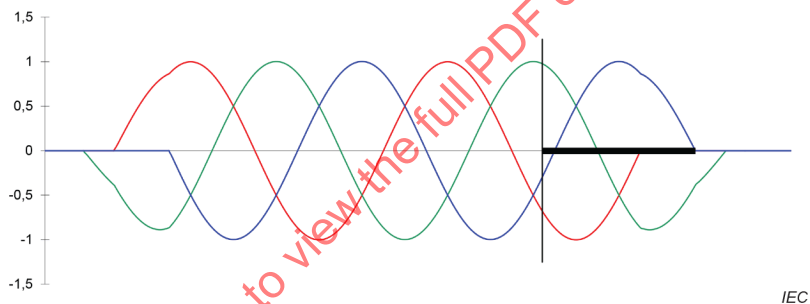
<sup>c</sup> Arcing times for test 4 and test 5 can be interchanged.



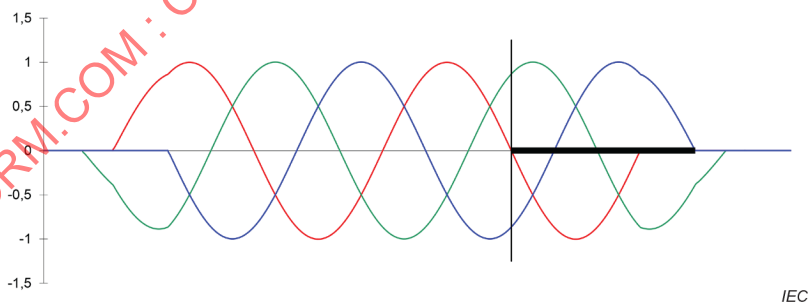
**Tests No. 1 and No. 2: Application of the TRV on the first-pole-to-clear**



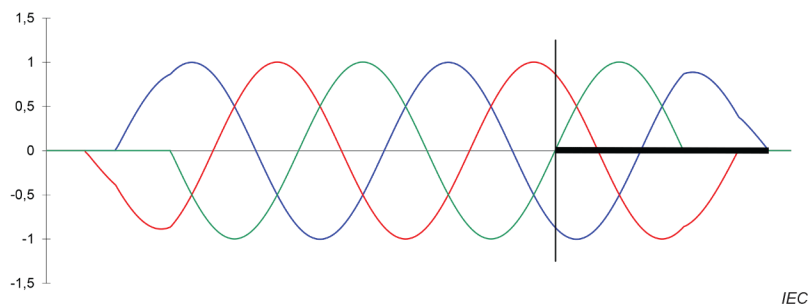
**Test No. 3: Application of the TRV on the first-pole-to-clear**



**Test No. 4: Application of the TRV on the second-pole-to-clear**



**Test No. 5: Application of the TRV on the second-pole-to-clear**



**Test No. 6: Application of the TRV on the third-pole-to-clear**

**Figure D.5 – Representation of the testing conditions of Table D.4**

### D.2.3 Test duty T100a

The three-phase test procedure for demonstration of arcing times according to 7.104.2.2 is given in Table D.5 and Table D.6 for a first-pole-to-clear factor of 1,5 and in Table D.7 and Table D.8 for a first-pole-to-clear factor of 1,3.

It is recognized that the tests of Table D.5 and Table D.7 are more severe than three-phase tests because the arcing time of the last-pole-to-clear or second-pole-to-clear is used together with the TRV of the first-pole-to-clear. As an alternative, the manufacturer can choose to split each test duty into two or three separate test series for demonstration of the arcing times in accordance with 7.104.3.5 of IEC 62271-100:2021. The procedures are given in Table D.6 for a first-pole-to-clear factor of 1,5 and in Table D.8 for a first-pole-to-clear factor of 1,3. For tests performed in accordance with Table D.6 and Table D.8, each test series shall demonstrate a successful interruption with the minimum and maximum arcing time for each pole-to-clear with its associated TRV. Re-conditioning of the circuit-breaker after each test series is permitted and shall comply with the requirements of 7.102.9.6 of IEC 62271-100:2021.

If a failure occurs while demonstrating the maximum arcing time on the second- or last-pole-to-clear using the procedure of Table D.5 or Table D.7, then it is permissible to continue testing using the test procedure of Table D.6 or Table D.8. In this case, provided no re-conditioning of the circuit-breaker has taken place, the tests demonstrating minimum and maximum arcing time on the first-pole-to-clear can be omitted.

To avoid changing the connection of the high-voltage circuit between tests on the first, second and third-pole-to-clear, all the required arcing times can be applied on the same pole with the same polarity of the recovery voltage.

**Table D.5 – Demonstration of arcing times for  $k_{pp} = 1,5$** 

| Test no. | Test sequence | Asymmetry condition                                                  | Arc duration<br>(additional to $t_{arc\ min}$ of the first-pole-to-clear for the phase subjected to the TRV) <sup>a</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)                                                                                      | TRV                                                                |                        | Injected current<br>( $di/dr$ )<br>% |
|----------|---------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
|          |               |                                                                      |                                                                                                                           |                                                                                                                                                   | Application<br>(with reference to the three-phase current circuit) | $u_c$<br>value<br>p.u. |                                      |
| 1        | Os            | Major loop – intermediate<br>(Table E.12 or Table E.15 col. 7 and 8) | 0                                                                                                                         | $t_{arc\ min}$ on first-pole-to-clear<br><br>Required asymmetry on the last-pole-to-clear with extended major loop                                | first-pole-to-clear                                                | 1,0                    | (Table E.12 or Table E.15 col. 9)    |
| 2        | Os            | Major loop – intermediate<br>(Table E.12 or Table E.15 col. 7 and 8) | $-T \times d\alpha/360^\circ$                                                                                             | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm the $t_{arc\ min}$<br><br>Required asymmetry on the last-pole-to-clear with extended major loop | first-pole-to-clear                                                | 1,0                    | (Table E.12 or Table E.15 col. 9)    |
| 3        | Os            | Major loop – rated<br>(Table E.12 or Table E.15 col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a1} - T \times d\alpha/360^\circ$                                                                              | $t_{arc1}$ with major loop and required asymmetry on the first-pole-to-clear                                                                      | first-pole-to-clear                                                | 1,0                    | (Table E.12 or Table E.15 col. 5)    |
| 4        | Os            | Major loop – rated<br>(Table E.12 or Table E.15 col. 10 and 11)      | $\Delta t_{a2} - T \times d\alpha/360^\circ$                                                                              | $t_{arc2}$ and required asymmetry on the last-pole-to-clear with extended major loop                                                              | last-pole-to-clear with extended loop                              | 1,0                    | (Table E.12 or Table E.15 col. 12)   |

Figure D.6 gives a representation of the testing conditions.

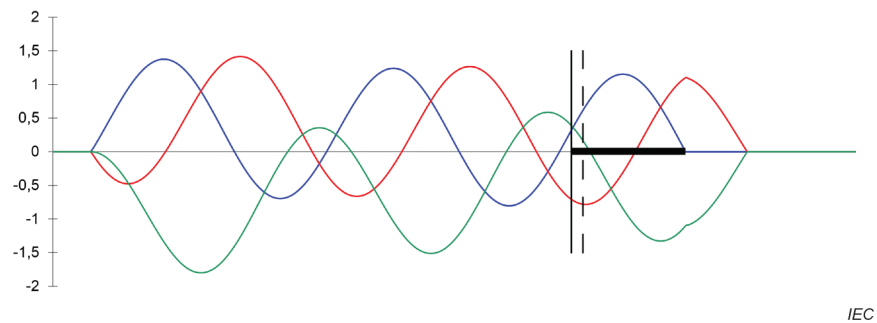
Values for the TRV reduction due to asymmetry can be found in Annex A.

<sup>a</sup> Where

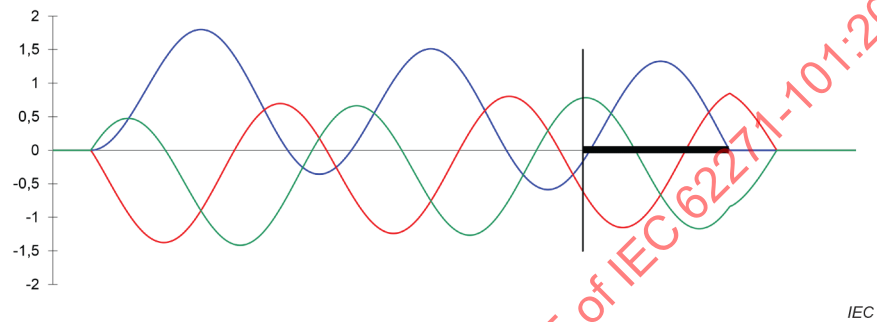
$\Delta t_{a1}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.12 or Table E.15 column 6;

$\Delta t_{a2}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.12 or Table E.15 column 14;

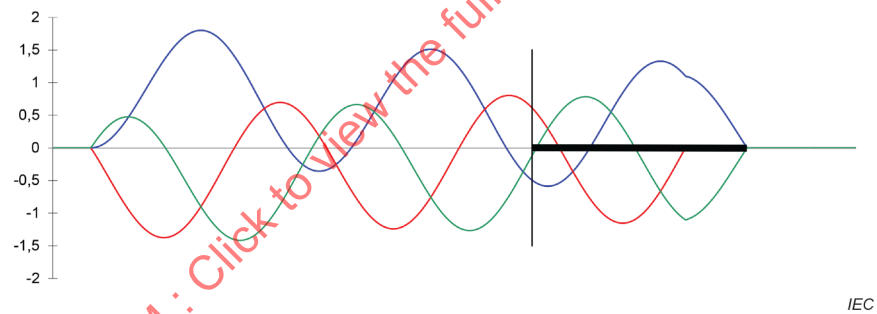
$d\alpha = 18^\circ$ .



**Tests No. 1 and No. 2: Application of the TRV on the first-pole-to-clear**



**Test No. 3: Application of the TRV on the first-pole-to-clear with major loop**



**Test No. 4: Application of the TRV on the last-pole-to-clear with extended major loop**

**Figure D.6 – Representation of the testing conditions of Table D.5**

**Table D.6 – Alternative demonstration of arcing times for  $k_{pp} = 1,5$** 

| Test no. | Test sequence | Asymmetry condition                                                  | Arc duration<br>(additional to $t_{arc\ min}$ of the first-pole-to-clear for the phase subjected to the TRV) <sup>a</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)                                                                                      | TRV                                                            |                        | Injected circuit<br>( $di/dr$ )<br>% |
|----------|---------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
|          |               |                                                                      |                                                                                                                           |                                                                                                                                                   | Application<br>(with reference to three-phase current circuit) | $u_c$<br>value<br>p.u. |                                      |
| 1        | Os            | Major loop – intermediate<br>(Table E.12 or Table E.15 col. 7 and 8) | 0                                                                                                                         | $t_{arc\ min}$ on first-pole-to-clear<br><br>Required asymmetry on the last-pole-to-clear with extended major loop                                | first-pole-to-clear                                            | 1,0                    | (Table E.12 or Table E.15 col. 9)    |
| 2        | Os            | Major loop – intermediate<br>(Table E.12 or Table E.15 col. 7 and 8) | $-T \times d\alpha/360^\circ$                                                                                             | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm the $t_{arc\ min}$<br><br>Required asymmetry on the last-pole-to-clear with extended major loop | first-pole-to-clear                                            | 1,0                    | (Table E.12 or Table E.15 col. 9)    |
| 3        | Os            | Major loop – rated<br>(Table E.12 or Table E.15 col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a1} - T \times d\alpha/360^\circ$                                                                              | $t_{arc1}$ with major loop and required asymmetry on the first-pole-to-clear                                                                      | first-pole-to-clear                                            | 1,0                    | (Table E.12 or Table E.15 col. 5)    |
| 4        | Os            | Major loop – rated<br>(Table E.12 or Table E.15 col. 10 and 11)      | (Table E.12 or Table E.15 col. 13) °                                                                                      | $t_{arc\ min}$ on the last-pole-to-clear and required asymmetry on the last-pole-to-clear with extended major loop                                | last-pole-to-clear with extended loop                          | 0,58                   | (Table E.12 or Table E.15 col. 12)   |
| 5        | Os            | Major loop – rated<br>(Table E.12 or Table E.15 col. 10 and 11)      | $\Delta t_{a2} - T \times d\alpha/360^\circ$                                                                              | $t_{arc2}$ and required asymmetry on the last-pole-to-clear with extended major loop                                                              | last-pole-to-clear with extended loop                          | 0,58                   | (Table E.12 or Table E.15 col. 12)   |

Figure D.7 gives a representation of the testing conditions.

Values for the TRV reduction due to asymmetry can be found in Annex A.

If tests are performed after a failure of test 4 in Table D.5 and no re-conditioning of the circuit-breaker has taken place, then tests can continue from test 4 in Table D.6.

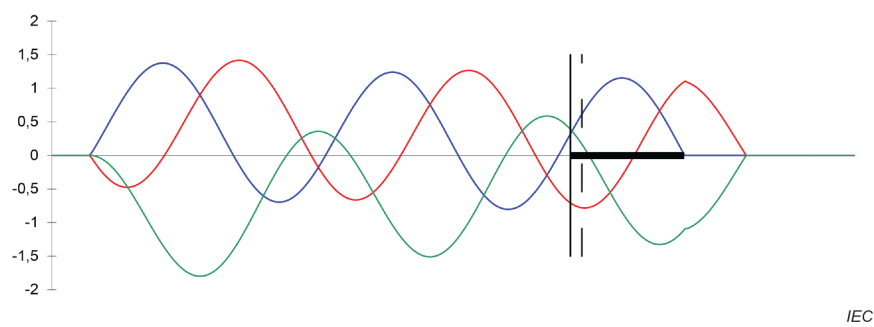
In case of failure during test 5, the circuit-breaker can be reconditioned and test 3 to test 5 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

<sup>a</sup> Where

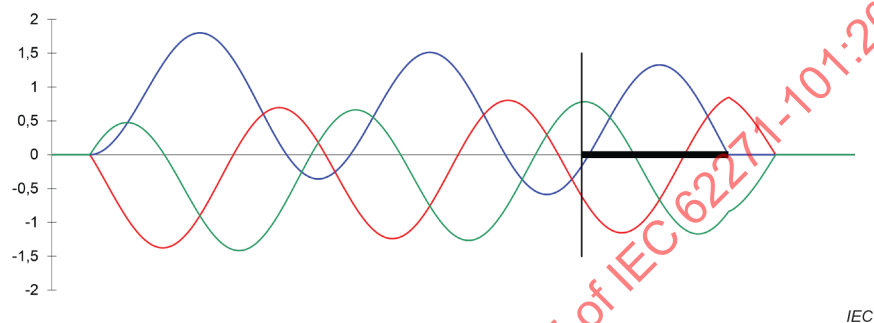
$\Delta t_{a1}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.12 or Table E.15 column 6;

$\Delta t_{a2}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.12 or Table E.15 column 14;

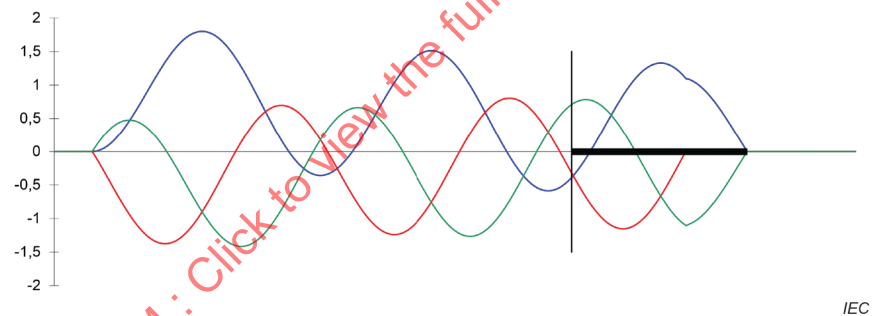
$d\alpha = 18^\circ$ .



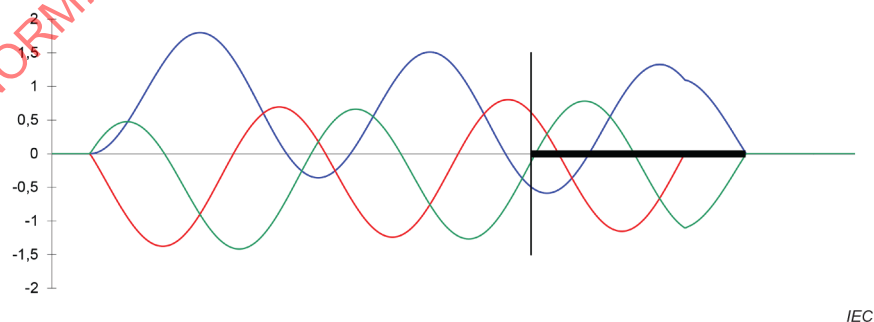
**Tests No. 1 and No. 2: Application of the TRV on the first-pole-to-clear**



**Test No. 3: Application of the TRV on the first-pole-to-clear with major loop**



**Test No. 4: Application of the TRV on the last-pole-to-clear with extended major loop**



**Test No. 5: Application of the TRV on the last-pole-to-clear with extended major loop**

**Figure D.7 – Representation of the testing conditions of Table D.6**

**Table D.7 – Demonstration of arcing times for  $k_{pp} = 1,3$** 

| Test no. | Test sequence | Asymmetry condition                                                  | Arc duration<br>(additional to $t_{arc\ min}$ of the first-pole-to-clear for the phase subjected to the TRV) <sup>a</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)                                                                                        | TRV                                                                |                        | Injected current<br>( $di/dt$ )<br>% |
|----------|---------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
|          |               |                                                                      |                                                                                                                           |                                                                                                                                                     | Application<br>(with reference to the three-phase current circuit) | $u_c$<br>value<br>p.u. |                                      |
| 1        | Os            | Major loop – intermediate<br>(Table E.13 or Table E.16 col. 7 and 8) | 0                                                                                                                         | $t_{arc\ min}$ on first-pole-to-clear<br><br>Required asymmetry on the second-pole-to-clear with extended major loop                                | first-pole-to-clear                                                | 1,0                    | (Table E.13 or Table E.16 col. 9)    |
| 2        | Os            | Major loop – intermediate<br>(Table E.13 or Table E.16 col. 7 and 8) | $-T \times da/360^\circ$                                                                                                  | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm the $t_{arc\ min}$<br><br>Required asymmetry on the second-pole-to-clear with extended major loop | first-pole-to-clear                                                | 1,0                    | (Table E.13 or Table E.16 col. 9)    |
| 3        | Os            | Major loop – rated<br>(Table E.13 or Table E.16 col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a1} - T \times da/360^\circ$                                                                                   | $t_{arc1}$ with major loop and required asymmetry on the first-pole-to-clear                                                                        | first-pole-to-clear                                                | 1,0                    | (Table E.13 or Table E.16 col. 5)    |
| 4        | Os            | Major loop – rated<br>(Table E.13 or Table E.16 col. 10 and 11)      | $\Delta t_{a3} - T \times da/360^\circ$                                                                                   | $t_{arc3}$ and required asymmetry on the second-pole-to-clear with extended major loop                                                              | second-pole-to-clear                                               | 1,0                    | (Table E.13 or Table E.16 col. 12)   |

Figure D.8 gives a representation of the testing conditions.

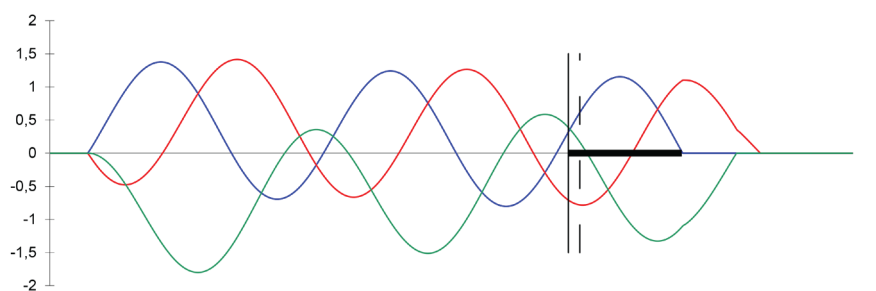
Values for the TRV reduction due to asymmetry can be found in Annex A.

<sup>a</sup> Where

$\Delta t_{a1}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.13 or Table E.16 column 6;

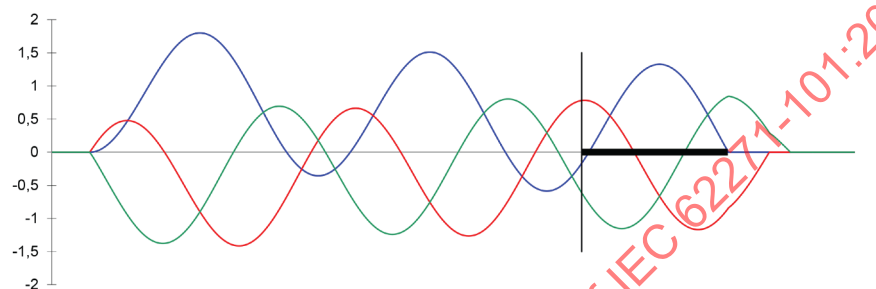
$\Delta t_{a3}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.13 or Table E.16 column 14;

$da = 18^\circ$ .



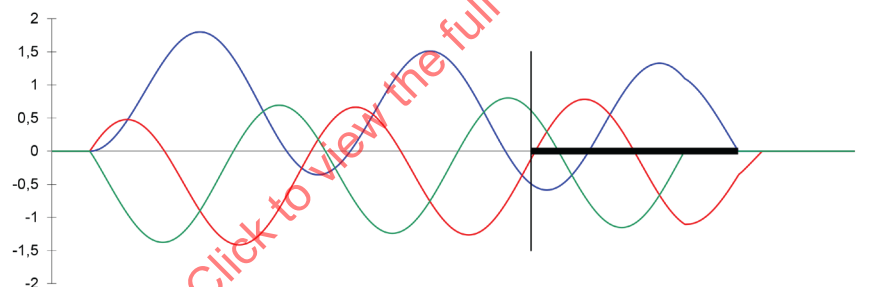
IEC

**Tests No. 1 and No. 2: Application of the TRV on the first-pole-to-clear**



IEC

**Test No. 3: Application of the TRV on the first-pole-to-clear with major loop**



IEC

**Test No. 4: Application of the TRV on the second-pole-to-clear with extended major loop**

**Figure D.8 – Representation of the testing conditions of Table D.7**

**Table D.8 – Alternative demonstration of arcing times for  $k_{pp} = 1,3$** 

| Test no. | Test sequence | Asymmetry condition                                                  | Arc duration<br>(additional to $t_{arc\ min}$ of the first-pole-to-clear for the phase subjected to the TRV) <sup>a</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)                                                                                                            | TRV                                                            |                        | Injected current<br>( $di/dt$ )<br>% |
|----------|---------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
|          |               |                                                                      |                                                                                                                           |                                                                                                                                                                         | Application<br>(with reference to three-phase current circuit) | $u_c$<br>value<br>p.u. |                                      |
| 1        | Os            | Major loop – intermediate<br>(Table E.13 or Table E.16 col. 7 and 8) | 0                                                                                                                         | $t_{arc\ min}$ on first-pole-to-clear<br><br>Required asymmetry on the second-pole-to-clear with extended major loop                                                    | first-pole-to-clear                                            | 1,0                    | (Table E.13 or Table E.16 col. 9)    |
| 2        | Os            | Major loop – intermediate<br>(Table E.13 or Table E.16 col. 7 and 8) | $-T \times d\alpha/360^\circ$                                                                                             | Re-ignition in the first pole to clear to confirm the first-pole-to-clear $t_{arc\ min}$<br><br>Required asymmetry on the second-pole-to-clear with extended major loop | first-pole-to-clear                                            | 1,0                    | (Table E.13 or Table E.16 col. 9)    |
| 3        | Os            | Major loop – rated<br>(Table E.13 or Table E.16 col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a1} - T \times d\alpha/360^\circ$                                                                              | $t_{arc1}$ with major loop and required asymmetry on the first-pole-to-clear                                                                                            | first-pole-to-clear                                            | 1,0                    | (Table E.13 or Table E.16 col. 5)    |
| 4        | Os            | Major loop – rated<br>(Table E.13 or Table E.16 col. 10 and 11)      | (Table E.13 or Table E.16 col. 13)                                                                                        | $t_{arc\ min}$ and required asymmetry on the second-pole-to-clear with extended major loop                                                                              | second-pole-to-clear                                           | 0,97                   | (Table E.13 or Table E.16 col. 12)   |
| 5        | Os            | Major loop – rated<br>(Table E.13 or Table E.16 col. 10 and 11)      | $\Delta t_{a3} - T \times d\alpha/360^\circ$                                                                              | $t_{arc3}$ and required asymmetry on the second-pole-to-clear with extended major loop                                                                                  | second-pole-to-clear                                           | 0,97                   | (Table E.13 or Table E.16 col. 12)   |

Figure D.9 gives a representation of the testing conditions.

Values for the TRV reduction due to asymmetry can be found in Annex A.

If tests are performed after a failure of test 4 in Table D.7 and no re-conditioning of the circuit-breaker has taken place, then tests can continue from test 4 in Table D.8.

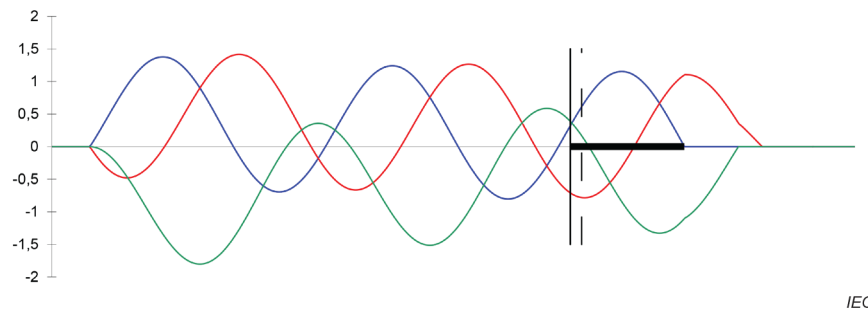
In case of failure during test 5, the circuit-breaker can be reconditioned and test 3 to test 5 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

<sup>a</sup> Where

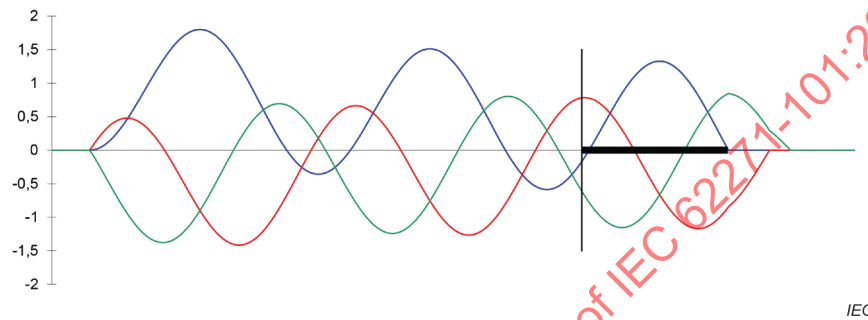
$\Delta t_{a1}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.13 or Table E.16 column 6;

$\Delta t_{a3}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.13 or Table E.16 column 14;

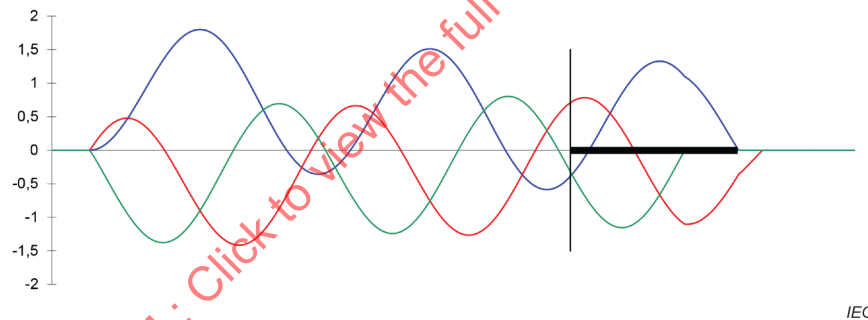
$d\alpha = 18^\circ$ .



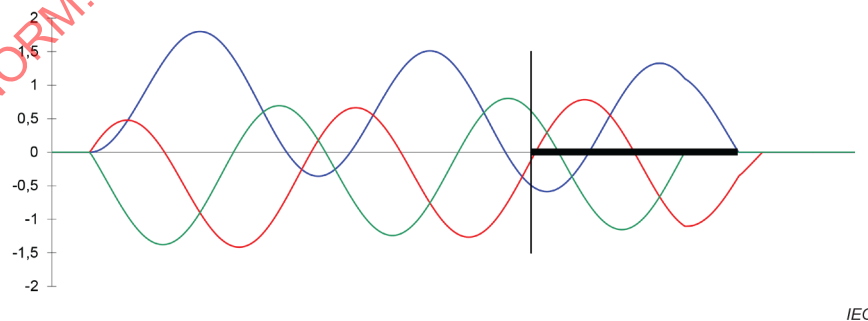
**Tests No. 1 and No. 2: Application of the TRV on the first-pole-to-clear**



**Test No. 3: Application of the TRV on the first-pole-to-clear with major loop**



**Test No. 4: Application of the TRV on the second-pole-to-clear with extended major loop**



**Test No. 5: Application of the TRV on the second-pole-to-clear with extended major loop**

**Figure D.9 – Representation of the testing conditions of Table D.8**

## D.2.4 Combination of first-pole-to-clear factors 1,3 and 1,5

### D.2.4.1 General

It is recognized that some of the test conditions are more severe than those given in the tables for the respective first-pole-to-clear factor. But all the tests given in Table D.9 and Table D.10 shall be performed in order to keep the equivalence with those tests specified in this document for each test-duty.

### D.2.4.2 Test-duties T10, T30, T60 and T100s(b)

The corresponding tests can be found in Table D.9.

**Table D.9 – Procedure for combining  $k_{pp} = 1,5$  and 1,3 during test-duties T10, T30, T60 and T100s(b)**

| Test no. | Test sequence <sup>a</sup> | Arc duration<br>(additional to $t_{arc\ min}$ of the first-pole-to-clear for the phase subjected to the TRV) <sup>b</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)                                                        | TRV                                                                |                     |                         | Injected current<br>( $di/dr$ )<br>% |
|----------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------------|
|          |                            |                                                                                                                           |                                                                                                                     | Application<br>(with reference to the three-phase current circuit) | $u_c$ value<br>p.u. | $u_c$ based on $k_{pp}$ |                                      |
| 1        | Os                         | 0                                                                                                                         | $t_{arc\ min}$ on the first-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,3$ and 1,5)                                                 | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 1,5                     | 100                                  |
| 2        | Os                         | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                           | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm the $t_{arc\ min}$                                                | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 1,5                     | 100                                  |
| 3        | (Cd)Os                     | $T \times 42^\circ / 360^\circ$                                                                                           | $t_{arc\ max}$ on the first-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,3$ and 1,5)                                                 | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 1,5                     | 100                                  |
| 4        | Od- $t$ -CdOs              | $T \times 90^\circ / 360^\circ$                                                                                           | $t_{arc\ min}$ on the second-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,3$ )<br>last-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,5$ ) <sup>c</sup> | second-pole-to-clear                                               | 0,97                | 1,3                     | 89                                   |
| 5        | CdOs                       | $T \times 132^\circ / 360^\circ$                                                                                          | $t_{arc\ max}$ on the second-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,3$ )<br>last-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,5$ ) <sup>c</sup> | second-pole-to-clear                                               | 0,97                | 1,3                     | 89                                   |
| 6        | (Cd)Os                     | $T \times 162^\circ / 360^\circ$                                                                                          | $t_{arc\ max}$ on the third-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,3$ )                                                        | third-pole-to-clear                                                | 0,77                | 1,3                     | 57                                   |

For test 1 to test 3, the synthetic circuit shall be applied on the first-pole-to clear.

In case of failure during test 5 or test 6, the circuit-breaker can be reconditioned and test 4 to test 6 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

If the current circuit is with unearthed neutral, for test 4 to test 6, the synthetic circuit shall be applied on the last-pole-to-clear (with extended loop).

If the current circuit is with earthed neutral, for test 4 and test 5, the synthetic circuit shall be applied on the second-pole-to-clear. For test 6, the synthetic circuit shall be applied on the third-pole-to-clear.

<sup>a</sup> Abbreviated terms are in accordance with Table 6.

<sup>b</sup> Where  $d\alpha = 18^\circ$ .

<sup>c</sup> Arcing times for test 4 and test 5 can be interchanged.

### D.2.4.3 Test duties T100a

The corresponding tests can be found in Table D.10.

**Table D.10 – Procedure for combining  $k_{pp} = 1,5$  and 1,3 during test-duty T100a**

| Test no. | Test sequence | Asymmetry condition                                               | Arc duration<br>(additional to $t_{arc\ min}$ of the first-pole-to-clear for the phase subjected to the TRV) <sup>a</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)                                                                                                                    | TRV                                                                |                     |                         | Injected current<br>( $di/dt$ )<br>% |
|----------|---------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------------|
|          |               |                                                                   |                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                 | Application<br>(with reference to the three-phase current circuit) | $u_c$ value<br>p.u. | $u_c$ based on $k_{pp}$ |                                      |
| 1        | Os            | Major loop – Intermediate (Table E.12 or Table E.15 col. 7 and 8) | 0                                                                                                                         | $t_{arc\ min}$ on first-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,5$ and 1,3)<br><br>Required asymmetry on the second- or last-pole-to-clear with extended major loop                         | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 1,5                     | (Table E.12 or Table E.15 col. 9)    |
| 2        | Os            | Major loop – Intermediate (Table E.12 or Table E.15 col. 7 and 8) | $-T \times da/360^\circ$                                                                                                  | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm the $t_{arc\ min}$<br><br>Required asymmetry on the second-or last-pole-to-clear with extended major loop                     | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 1,5                     | (Table E.12 or Table E.15 col. 9)    |
| 3        | Os            | Major loop – rated (Table E.12 or Table E.15 col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a1} - T \times da/360^\circ$                                                                                   | $t_{arc1}$ with major loop and required asymmetry on the first-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,3$ and 1,5)                                                                          | first-pole-to-clear                                                | 1,0                 | 1,5                     | (Table E.12 or Table E.15 col. 5)    |
| 4        | Os            | Major loop – rated <sup>b</sup>                                   | (Table E.12 or Table E.15 col. 13)                                                                                        | $t_{arc\ min}$ with required asymmetry on the second-pole-to-clear with extended major loop ( $k_{pp} = 1,3$ ) and last-pole-to-clear with extended major loop ( $k_{pp}=1,5$ ) | second-pole-to-clear <sup>b</sup>                                  | 0,97                | 1,3                     | (Table E.13 or Table E.16 col. 12)   |
| 5        | Os            | Major loop – rated <sup>b</sup>                                   | $\Delta t_{a3} - T \times da/360^\circ$                                                                                   | $t_{arc3}$ and required asymmetry on the second-pole-to-clear with extended major loop ( $k_{pp} = 1,3$ )                                                                       | second-pole-to-clear <sup>b</sup>                                  | 0,97                | 1,3                     | (Table E.13 or Table E.16 col. 12)   |

| Test no. | Test sequence | Asymmetry condition             | Arc duration<br>(additional to $t_{arc\ min}$ of the first-pole-to-clear for the phase subjected to the TRV) <sup>a</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)                                            | TRV                                                                |                     |                         | Injected current<br><br>( $di/dt$ )<br>% |
|----------|---------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------------------------|
|          |               |                                 |                                                                                                                           |                                                                                                         | Application<br>(with reference to the three-phase current circuit) | $u_c$ value<br>p.u. | $u_c$ based on $k_{pp}$ |                                          |
| 6        | Os            | Major loop – rated <sup>b</sup> | $\Delta t_{a2} - T \times da/360^\circ$                                                                                   | $t_{arc2}$ and required asymmetry on the last-pole-to-clear with extended major loop ( $k_{pp} = 1,5$ ) | last-pole-to-clear <sup>b</sup>                                    | 0,58                | 1,5                     | (Table E.12 or Table E.15 col. 12)       |

In case of failure during test 5 or test 6, the circuit-breaker can be reconditioned and test 4 to test 6 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

Test 5 and test 6 can be combined, using the TRV and  $di/dt$  of test 5 and the arcing time of test 6.

Values for the TRV reduction due to asymmetry can be found in Annex A.

a Where

$\Delta t_{s1}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.12 or Table E.15 column 6;

$\Delta t_{s2}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.12 or Table E.15 column 14;

$\Delta t_{a3}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.13 or Table E.16 column 14;

$$d\alpha = 18^\circ.$$

<sup>b</sup> If the current circuit is with unearthed neutral, for test 4 to test 6, the synthetic circuit shall be applied on the last-pole-to-clear with extended loop. See Table E.12 or Table E.15, column 10 and 11, for amplitude and duration of the last current loop.

If the current circuit is with earthed neutral, for test 4 to test 6, the synthetic circuit shall be applied on the second-pole-to-clear with extended loop. See Table E.13 or Table E.16 column 10 and 11, for amplitude and duration of the last current loop.

## Annex E (normative)

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

#### E.1 General

Depending on the limitation of a laboratory, three-phase tests are not always possible. It is common practice to perform such tests using a single-phase circuit with a single TRV that covers the first, second and last pole-to-clear. This test procedure can result in higher stresses on the circuit-breaker under test compared to the corresponding three-phase direct test procedure.

The procedure in Annex E can be used in substitution of three-phase tests where single-phase testing is permitted.

A combination of the first-pole-to-clear factors 1,5 and 1,3 in accordance with 7.104.3.4 of IEC 62271-100:2021, while splitting the test-duties at the same time, can be made according to Clause E.4.

#### E.2 Test-duties T10, T30, T60, T100s(b), OP1 and OP2(b)

##### E.2.1 Test procedure for first-pole-to-clear factors 1,5 and 2,5

The single-phase test procedures for splitting of test duties to demonstrate arcing times with the correct TRV for each pole-to-clear according to 7.104.3.5 of IEC 62271-100:2021 are given in Table E.1 for the first-pole-to-clear factors of 1,5 and 2,5.

**Table E.1 – Test procedure for  $k_{pp} = 1,5$  and 2,5**

| Test no. | Test sequence <sup>a</sup>       | Arc duration<br>(additional to the $t_{arc\ min}$ )<br>ms <sup>d</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)     | TRV          |                     | Injected current<br>$di/dr$<br>% |
|----------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|----------------------------------|
|          |                                  |                                                                        |                                                                  | RRRV<br>p.u. | $u_c$ value<br>p.u. |                                  |
| 1        | Os<br>CdOs <sup>b</sup>          | 0                                                                      | $t_{arc\ min}$ first-pole-to-clear                               | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 2        | Os<br>CdOs <sup>b</sup>          | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                        | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm $t_{arc\ min}$ | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 3        | Od- $t$ -CdOs<br>Os <sup>c</sup> | $T \times 42^\circ / 360^\circ$                                        | $t_{arc\ max}$ first-pole-to-clear                               | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 4        | Os                               | $T \times 90^\circ / 360^\circ$                                        | $t_{arc\ min}$ last-pole-to-clear                                | 0,7          | 0,58                | 87                               |
| 5        | CdOs<br>Os <sup>c</sup>          | $T \times 132^\circ / 360^\circ$                                       | $t_{arc\ max}$ last-pole-to-clear                                | 0,7          | 0,58                | 87                               |

For T10, T30 and T60, the Cd operation can be carried out under no-load conditions.

<sup>a</sup> Abbreviated terms are in accordance with Table 6.

<sup>b</sup> Test sequence for OP2(b), the Cd operation can be carried out under no-load conditions, see also Table 7.

<sup>c</sup> Test sequence for OP1 and OP2(b), see also Table 7.

<sup>d</sup> Where  $d\alpha = 18^\circ$ .

### E.2.2 Test procedure for first-pole-to-clear factors 1,3 and 2,0

The single-phase test procedures for splitting of test duties to demonstrate arcing times with the correct TRV for each pole-to-clear according to 7.104.3.5 of IEC 62271-100:2021 are given in Table E.2 and Table E.3 for the first-pole-to-clear factors of 1,3 and 2,0. A simplified procedure is given in Table E.3 which is more severe than the procedure given in Table E.2.

In case of a failure during test 5 or test 6 as given in Table E.2, the circuit-breaker can be reconditioned and test 4 to test 6 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

In case of a failure during test 5 as given in Table E.3, the circuit-breaker can be reconditioned and test 3 to test 5 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

Re-conditioning of the circuit-breaker, when necessary, shall comply with the requirements of 7.102.9.6 of IEC 62271-100:2021.

**Table E.2 – Test procedure for  $k_{pp} = 1,3$  and 2,0**

| Test no. | Test sequence <sup>a</sup>       | Arc duration<br>(additional to the $t_{arc\ min}$ )<br>ms <sup>d</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)     | TRV          |                     | Injected current<br>$di/dt$<br>% |
|----------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|----------------------------------|
|          |                                  |                                                                        |                                                                  | RRRV<br>p.u. | $u_c$ value<br>p.u. |                                  |
| 1        | Os<br>CdOs <sup>b</sup>          | 0                                                                      | $t_{arc\ min}$ first-pole-to-clear                               | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 2        | Os<br>CdOs <sup>b</sup>          | $-T \times da/360^\circ$                                               | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm $t_{arc\ min}$ | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 3        | (Cd)Os<br>Os <sup>c</sup>        | $T \times 42^\circ/360^\circ$                                          | $t_{arc\ max}$ first-pole-to-clear                               | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 4        | Od- $t$ -CdOs<br>Os <sup>c</sup> | $T \times 77^\circ/360^\circ$                                          | $t_{arc\ min}$ second-pole-to-clear <sup>e</sup>                 | 0,95         | 0,97                | 89                               |
| 5        | CdOs<br>Os <sup>c</sup>          | $T \times 119^\circ/360^\circ$                                         | $t_{arc\ max}$ second-pole-to-clear <sup>e</sup>                 | 0,95         | 0,97                | 89                               |
| 6        | (Cd)Os<br>Os <sup>c</sup>        | $T \times 162^\circ/360^\circ$                                         | $t_{arc\ max}$ third-pole-to-clear                               | 0,70         | 0,77                | 57                               |

For T10, T30 and T60, the Cd operation can be carried out under no-load conditions.

<sup>a</sup> Abbreviated terms are in accordance with Table 6.

<sup>b</sup> Test sequence for OP2(b), the Cd operation can be carried out under no-load conditions, see also Table 7.

<sup>c</sup> Test sequence for OP1 and OP2(b), see also Table 7.

<sup>d</sup> Where  $da = 18^\circ$ .

<sup>e</sup> Arcing times for test 4 and test 5 can be interchanged.

**Table E.3 – Simplified test procedure for  $k_{pp} = 1,3$  and  $2,0$** 

| Test no.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Test sequence <sup>a</sup>       | Arc duration<br>(additional to the $t_{arc\ min}$ )<br>ms <sup>d</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)     | TRV          |                     | Injected current<br>$di/dr$<br>% |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|----------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                  |                                                                        |                                                                  | RRRV<br>p.u. | $u_c$ value<br>p.u. |                                  |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Os<br>CdOs <sup>b</sup>          | 0                                                                      | $t_{arc\ min}$ first-pole-to-clear                               | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Os<br>CdOs <sup>b</sup>          | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                        | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm $t_{arc\ min}$ | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Od- $t$ -CdOs<br>Os <sup>c</sup> | $T \times 119^\circ / 360^\circ$                                       | $t_{arc\ max}$ second-pole-to-clear <sup>e</sup>                 | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CdOs<br>Os <sup>c</sup>          | $T \times 60^\circ / 360^\circ$                                        | $t_{arc\ med}$ first- and second-pole-to-clear <sup>e</sup>      | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | (Cd)Os<br>Os <sup>c</sup>        | $T \times 162^\circ / 360^\circ$                                       | $t_{arc\ max}$ third-pole-to-clear                               | 0,70         | 0,77                | 57                               |
| For T10, T30 and T60, the Cd operation can be carried out under no-load conditions.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                  |                                                                        |                                                                  |              |                     |                                  |
| <sup>a</sup> Abbreviated terms are in accordance with Table 6.<br><sup>b</sup> Test sequence for OP2(b), the Cd operation can be carried out under no-load conditions, see also Table 7.<br><sup>c</sup> Test sequence for OP1 and OP2(b), see also Table 7.<br><sup>d</sup> Where $d\alpha = 18^\circ$ .<br><sup>e</sup> Arcing times for tests 3 and 4 can be interchanged. |                                  |                                                                        |                                                                  |              |                     |                                  |

**E.2.3 Test procedure for first-pole-to-clear factor 1,2**

The single-phase test procedures for splitting of test duties to demonstrate arcing times with the correct TRV for each pole-to-clear according to 7.104.3.5 of IEC 62271-100:2021 are given in Table E.4 and Table E.5 for a first-pole-to-clear factor of 1,2.

A simplified procedure is given in Table E.5 which is more severe than the procedure given in Table E.4.

In case of a failure during test 5 or test 6 as given in Table E.4, the circuit-breaker can be reconditioned and test 4 to test 6 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

Re-conditioning of the circuit-breaker, when necessary, shall comply with the requirements of 7.102.9.6 of IEC 62271-100:2021.

**Table E.4 – Test procedure for  $k_{pp} = 1,2$** 

| Test no.                                                                            | Test sequence <sup>a</sup> | Arc duration<br>(additional to the $t_{arc\ min}$ )<br>ms <sup>b</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)     | TRV          |                     | Injected current<br>$di/dt$<br>% |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|----------------------------------|
|                                                                                     |                            |                                                                        |                                                                  | RRRV<br>p.u. | $u_c$ value<br>p.u. |                                  |
| 1                                                                                   | Os                         | 0                                                                      | $t_{arc\ min}$ first-pole-to-clear                               | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 2                                                                                   | Os                         | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                        | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm $t_{arc\ min}$ | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 3                                                                                   | (Cd)Os                     | $T \times 42^\circ / 360^\circ$                                        | $t_{arc\ max}$ first-pole-to-clear                               | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 4                                                                                   | Od- $t$ -CdOs              | $T \times 71^\circ / 360^\circ$                                        | $t_{arc\ min}$ second-pole-to-clear <sup>c</sup>                 | 0,95         | 0,95                | 92                               |
| 5                                                                                   | CdOs                       | $T \times 113^\circ / 360^\circ$                                       | $t_{arc\ max}$ second-pole-to-clear <sup>c</sup>                 | 0,95         | 0,95                | 92                               |
| 6                                                                                   | (Cd)Os                     | $T \times 162^\circ / 360^\circ$                                       | $t_{arc\ max}$ third-pole-to-clear                               | 0,83         | 0,83                | 75                               |
| For T10, T30 and T60, the Cd operation can be carried out under no-load conditions. |                            |                                                                        |                                                                  |              |                     |                                  |
| <sup>a</sup> Abbreviated terms are in accordance with Table 6.                      |                            |                                                                        |                                                                  |              |                     |                                  |
| <sup>b</sup> Where $d\alpha = 18^\circ$ .                                           |                            |                                                                        |                                                                  |              |                     |                                  |
| <sup>c</sup> Arcing times for test 4 and test 5 can be interchanged.                |                            |                                                                        |                                                                  |              |                     |                                  |

**Table E.5 – Simplified test procedure for  $k_{pp} = 1,2$** 

| Test no.                                                                            | Test sequence <sup>a</sup> | Arc duration<br>(additional to the $t_{arc\ min}$ )<br>ms <sup>b</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)     | TRV          |                     | Injected current<br>$di/dt$<br>% |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|----------------------------------|
|                                                                                     |                            |                                                                        |                                                                  | RRRV<br>p.u. | $u_c$ value<br>p.u. |                                  |
| 1                                                                                   | Os                         | 0                                                                      | $t_{arc\ min}$ first-pole-to-clear                               | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 2                                                                                   | Os                         | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                        | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm $t_{arc\ min}$ | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 3                                                                                   | Od- $t$ -CdOs              | $T \times 113^\circ / 360^\circ$                                       | $t_{arc\ max}$ second-pole-to-clear <sup>c</sup>                 | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 4                                                                                   | CdOs                       | $T \times 57^\circ / 360^\circ$                                        | $t_{arc\ med}$ first-and second-pole-to-clear <sup>c</sup>       | 1,0          | 1,0                 | 100                              |
| 5                                                                                   | (Cd)Os                     | $T \times 162^\circ / 360^\circ$                                       | $t_{arc\ max}$ third-pole-to-clear                               | 0,83         | 0,83                | 75                               |
| For T10, T30 and T60, the Cd operation can be carried out under no-load conditions. |                            |                                                                        |                                                                  |              |                     |                                  |
| <sup>a</sup> Abbreviated terms are in accordance with Table 6.                      |                            |                                                                        |                                                                  |              |                     |                                  |
| <sup>b</sup> Where $d\alpha = 18^\circ$ .                                           |                            |                                                                        |                                                                  |              |                     |                                  |
| <sup>c</sup> Arcing times for test 3 and test 4 can be interchanged.                |                            |                                                                        |                                                                  |              |                     |                                  |

### E.3 Test duty T100a

#### E.3.1 General

The test procedure described here is based on the determination of the minimum arcing time after a major loop with intermediate asymmetry.

The voltage correction for the first-pole-to-clear shall be derived from Table A.1 to Table A.6 or calculated according Annex A. The voltage correction for the second- and third-pole-to-clear shall be derived from the values of the first-pole-to-clear multiplied by the standard multipliers for the corresponding pole-to-clear as given in Table E.6, Table E.7, Table E.8 and Table E.11.

### E.3.2 Test procedure for first-pole-to-clear factor 1,5

The test series shows the clearing capability for the different asymmetrical conditions and their associated TRV values. The aim is to obtain a series of 5 valid tests.

The corresponding tests can be found in Table E.6.

In case of a failure during test 5 as given in Table E.6, the circuit-breaker can be reconditioned and test 3 to test 5 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

Re-conditioning of the circuit-breaker, when necessary, shall comply with the requirements of 7.102.9.6 of IEC 62271-100:2021.

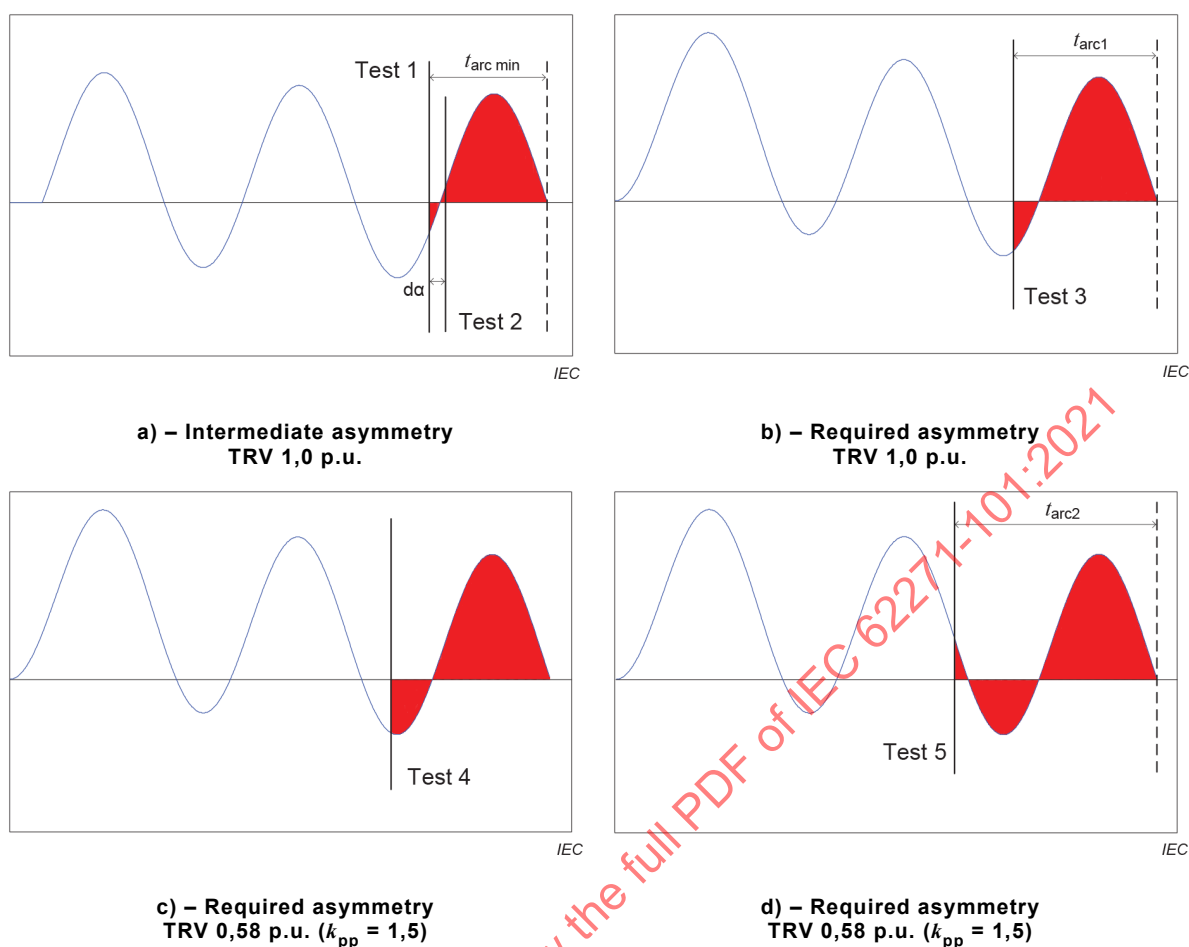
**Table E.6 – Test procedure for asymmetrical currents for  $k_{pp} = 1,5$**

| Test no. | Test sequence | Asymmetry condition                       | Arc duration <sup>a</sup><br>(additional to the $t_{arc\ min}$ )<br>ms | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)     | TRV          |                     | Injected current<br>$di/dt$<br>% |
|----------|---------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|----------------------------------|
|          |               |                                           |                                                                        |                                                                  | RRRV<br>p.u. | $u_c$ value<br>p.u. |                                  |
| 1        | Os            | Major loop intermediate<br>(col. 7 and 8) | 0                                                                      | $t_{arc\ min}$ first-pole-to-clear                               | 1,0          | 1,0                 | (col. 9)                         |
| 2        | Os            | Major loop intermediate<br>(col. 7 and 8) | $-T \times d\alpha/360^\circ$                                          | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm $t_{arc\ min}$ | 1,0          | 1,0                 | (col. 9)                         |
| 3        | Os            | Major loop rated<br>(col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a1} - T \times d\alpha/360^\circ$                           | $t_{arc\ max} (= t_{arc1})$ first-pole-to-clear                  | 1,0          | 1,0                 | (col. 5)                         |
| 4        | Os            | Major loop rated<br>(col. 3 and 4)        | (col. 13)                                                              | $t_{arc\ min}$ last-pole-to-clear                                | 0,7          | 0,58                | (col.12)                         |
| 5        | Os            | Major loop rated<br>(col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a2} - T \times d\alpha/360^\circ$                           | $t_{arc\ max} (= t_{arc2})$ last-pole-to-clear                   | 0,7          | 0,58                | (col.12)                         |

Figure E.1 gives an exemplary representation of the testing conditions.

Column numbers refer to columns in Table E.12 or Table E.15.

<sup>a</sup> Where  
 $\Delta t_{a1}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.12 or Table E.15 column 6;  
 $\Delta t_{a2}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.12 or Table E.15 column 14;  
 $d\alpha = 18^\circ$ .



**Figure E.1 – Example of graphical representation of the tests shown in Table E.6**

### E.3.3 Test procedure for first-pole-to-clear factor 1,3

The test series shows the clearing capability for the different asymmetrical conditions and their associated TRV values. The aim is to obtain a series of 5 valid tests.

The corresponding tests can be found in Table E.7.

In case of a failure during test 5 as given in Table E.7, the circuit-breaker can be reconditioned and test 3 to test 5 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

Re-conditioning of the circuit-breaker, when necessary, shall comply with the requirements of 7.102.9.6 of IEC 62271-100:2021.

**Table E.7 – Test procedure for asymmetrical currents for  $k_{pp} = 1,3$** 

| Test no. | Test sequence | Asymmetry condition                       | Arc duration <sup>a</sup><br>(additional to the $t_{arc\ min}$ )<br><br>ms | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)     | TRV              |                         | Injected current<br>$di/dt$<br><br>% |
|----------|---------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------------|
|          |               |                                           |                                                                            |                                                                  | RRRV<br><br>p.u. | $u_c$ value<br><br>p.u. |                                      |
| 1        | Os            | Major loop intermediate<br>(col. 7 and 8) | 0                                                                          | $t_{arc\ min}$ first-pole-to-clear                               | 1,0              | 1,0                     | (col. 9)                             |
| 2        | Os            | Major loop intermediate<br>(col. 7 and 8) | $-T \times d\alpha/360^\circ$                                              | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm $t_{arc\ min}$ | 1,0              | 1,0                     | (col. 9)                             |
| 3        | Os            | Major loop rated<br>(col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a1} - T \times d\alpha/360^\circ$                               | $t_{arc\ max} (= t_{arc1})$ first-pole-to-clear                  | 1,0              | 1,0                     | (col. 5)                             |
| 4        | Os            | Major loop rated<br>(col. 3 and 4)        | (col. 13)                                                                  | $t_{arc\ min}$ second-pole-to-clear                              | 0,95             | 0,97                    | (col. 12)                            |
| 5        | Os            | Major loop rated<br>(col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a3} - T \times d\alpha/360^\circ$                               | $t_{arc\ max} (= t_{arc3})$ second-pole-to-clear                 | 0,95             | 0,97                    | (col. 12)                            |

Figure E.2 gives an exemplary representation of the testing conditions.

Column numbers refer to columns in Table E.13 or Table E.16.

<sup>a</sup> Where

$\Delta t_{a1}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.13 or Table E.16, column 6;

$\Delta t_{a3}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.13 or Table E.16, column 14;

$d\alpha = 18^\circ$ .

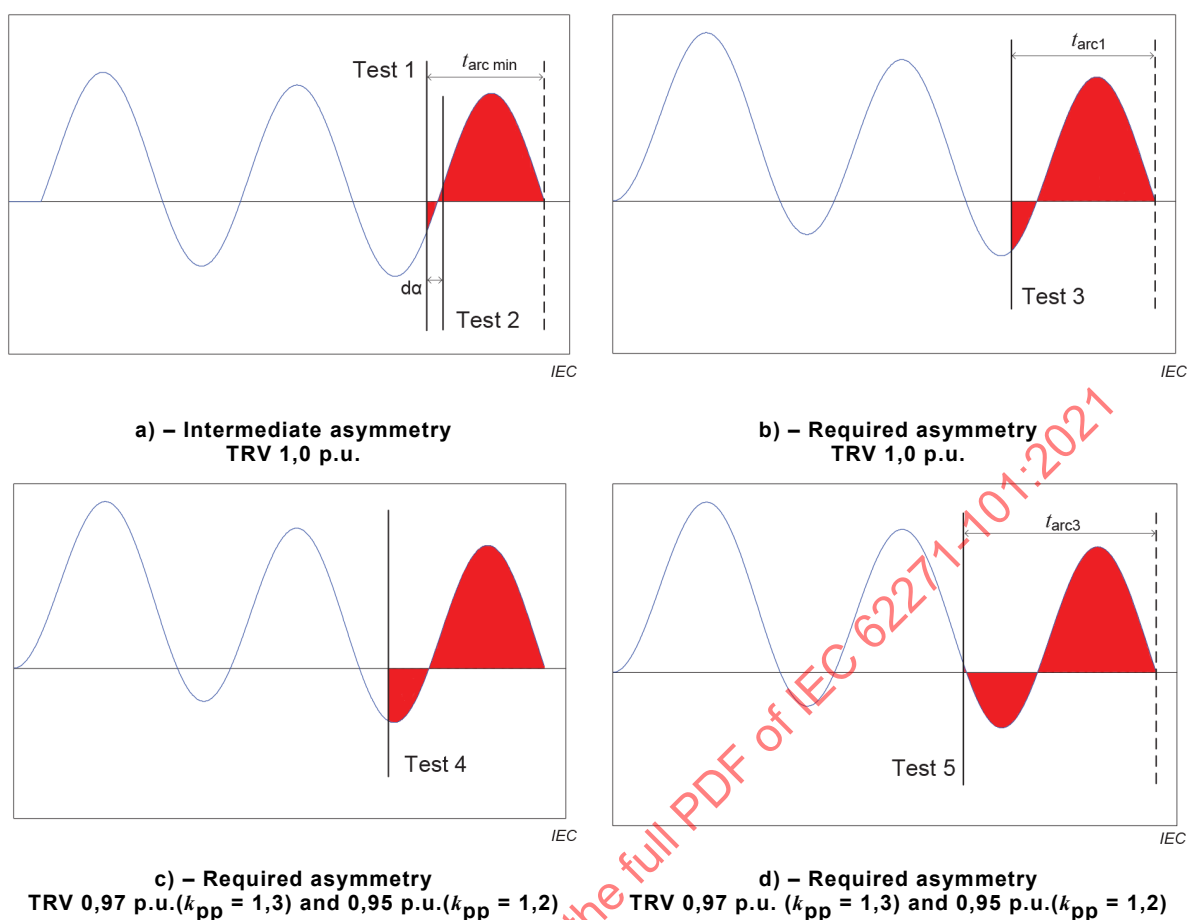


Figure E.2 – Example of graphical representation of the tests shown in Table E.7 and Table E.8

### E.3.4 Test procedure for first-pole-to-clear factor 1,2

The test series shows the clearing capability for the different asymmetrical conditions and their associated TRV values. The aim is to obtain a series of 5 valid tests.

The corresponding tests can be found in Table E.8.

In case of a failure during test 5 as given in Table E.8, the circuit-breaker can be reconditioned and test 3 to test 5 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

Re-conditioning of the circuit-breaker, when necessary, shall comply with the requirements of 7.102.9.6 of IEC 62271-100:2021.

**Table E.8 – Test procedure for asymmetrical currents for  $k_{pp} = 1,2$** 

| Test no.                                                                                                                                                                                                                                                | Test sequence | Asymmetry condition                       | Arc duration <sup>a</sup><br>(additional to the $t_{arc\ min}$ )<br><br>ms | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)     | TRV              |                         | Injected current<br>$di/dt$<br><br>% |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                         |               |                                           |                                                                            |                                                                  | RRRV<br><br>p.u. | $u_c$ value<br><br>p.u. |                                      |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                       | Os            | Major loop intermediate<br>(col. 7 and 8) | 0                                                                          | $t_{arc\ min}$ first-pole-to-clear                               | 1,0              | 1,0                     | (col. 9)                             |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                       | Os            | Major loop intermediate<br>(col. 7 and 8) | $-T \times d\alpha/360^\circ$                                              | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm $t_{arc\ min}$ | 1,0              | 1,0                     | (col. 9)                             |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                       | Os            | Major loop rated<br>(col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a1} - T \times d\alpha/360^\circ$                               | $t_{arc\ max} (= t_{arc1})$ first-pole-to-clear                  | 1,0              | 1,0                     | (col. 5)                             |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                       | Os            | Major loop rated<br>(col. 3 and 4)        | (col. 13)                                                                  | $t_{arc\ min}$ second-pole-to-clear                              | 0,95             | 0,95                    | (col. 12)                            |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                       | Os            | Major loop rated<br>(col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a3} - T \times d\alpha/360^\circ$                               | $t_{arc\ max} (= t_{arc3})$ second-pole-to-clear                 | 0,95             | 0,95                    | (col. 12)                            |
| Figure E.2 gives an exemplary representation of the testing conditions.                                                                                                                                                                                 |               |                                           |                                                                            |                                                                  |                  |                         |                                      |
| Column numbers refer to columns in Table E.14 or Table E.17.                                                                                                                                                                                            |               |                                           |                                                                            |                                                                  |                  |                         |                                      |
| <sup>a</sup> Where<br>$\Delta t_{a1}$ is the relevant parameter to be selected from Table E.14 or Table E.17, column 6;<br>$\Delta t_{a3}$ is the relevant parameter to be selected from Table E.14 or Table E.17, column 14;<br>$d\alpha = 18^\circ$ . |               |                                           |                                                                            |                                                                  |                  |                         |                                      |

## E.4 Combination of first-pole-to-clear factors

### E.4.1 General

It is recognized that some of the test conditions are more severe than those given in the tables for the respective first-pole-to-clear factor. But all the tests given in Table E.9 to Table E.11 shall be performed in order to keep the equivalence with those tests specified in this document for each test-duty.

### E.4.2 Combination of first-pole-to-clear factors 1,3 and 1,5 for test duties T10, T30, T60 and T100s(b)

The corresponding tests can be found in Table E.9.

In case of failure during test 5 or test 6, the circuit-breaker can be reconditioned and test 4 to test 6 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

Re-conditioning of the circuit-breaker, when necessary, shall comply with the requirements of 7.102.9.6 of IEC 62271-100:2021.

**Table E.9 – Procedure for combining  $k_{pp} = 1,3$  and  $1,5$  for test-duties T10, T30, T60 and T100s(b)**

| Test no.                                                                            | Test sequence <sup>a</sup> | Arc duration<br>(additional to $t_{arc\ min}$ )<br>ms <sup>b</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)                                                 | TRV          |                     |                  | Injected current<br>$di/dr$<br>% |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|------------------|----------------------------------|
|                                                                                     |                            |                                                                    |                                                                                                              | RRRV<br>p.u. | $u_c$ value<br>p.u. | $k_{pp}$<br>p.u. |                                  |
| 1                                                                                   | Os                         | 0                                                                  | $t_{arc\ min}$ first-pole-to-clear<br>( $k_{pp} = 1,3$ and $1,5$ )                                           | 1,0          | 1,0                 | 1,5              | 100                              |
| 2                                                                                   | Os                         | $-T \times d\alpha/360^\circ$                                      | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm<br>$t_{arc\ min}$                                          | 1,0          | 1,0                 | 1,5              | 100                              |
| 3                                                                                   | (Cd)Os                     | $T \times 42^\circ/360^\circ$                                      | $t_{arc\ max}$ first-pole-to-clear<br>( $k_{pp} = 1,3$ and $1,5$ )                                           | 1,0          | 1,0                 | 1,5              | 100                              |
| 4                                                                                   | Od- $t$ -CdOs              | $T \times 90^\circ/360^\circ$                                      | $t_{arc\ min}$ second-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,3$ )<br>last-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,5$ ) <sup>c</sup> | 0,95         | 0,97                | 1,3              | 89                               |
| 5                                                                                   | CdOs                       | $T \times 132^\circ/360^\circ$                                     | $t_{arc\ max}$ second-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,3$ )<br>last-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,5$ ) <sup>c</sup> | 0,95         | 0,97                | 1,3              | 89                               |
| 6                                                                                   | (Cd)Os                     | $T \times 162^\circ/360^\circ$                                     | $t_{arc\ max}$ last-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,3$ )                                                         | 0,70         | 0,77                | 1,3              | 57                               |
| For T10, T30 and T60, the Cd operation can be carried out under no-load conditions. |                            |                                                                    |                                                                                                              |              |                     |                  |                                  |
| <sup>a</sup> Abbreviated terms are in accordance with Table 6.                      |                            |                                                                    |                                                                                                              |              |                     |                  |                                  |
| <sup>b</sup> Where $d\alpha = 18^\circ$ .                                           |                            |                                                                    |                                                                                                              |              |                     |                  |                                  |
| <sup>c</sup> Arcing times for test 4 and test 5 can be interchanged.                |                            |                                                                    |                                                                                                              |              |                     |                  |                                  |

#### E.4.3 Combination of first-pole-to-clear factors 2,0 and 2,5 for test duties OP1 and OP2(b)

The corresponding tests can be found in Table E.10.

In case of failure during test 5 or test 6, the circuit-breaker can be reconditioned and test 4 to test 6 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

Re-conditioning of the circuit-breaker, when necessary, shall comply with the requirements of 7.102.9.6 of IEC 62271-100:2021.

**Table E.10 – Procedure for combining  $k_{pp} = 2,0$  and 2,5  
for test-duties OP1 and OP2(b)**

| Test no.                                                                                                                                                                                                                     | Test sequence <sup>a</sup> | Arc duration<br>(additional to $t_{arc\ min}$ )<br>ms <sup>c</sup> | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)                                        | TRV          |                     |                  | Injected current<br>$di/dt$<br>% |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|------------------|----------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                              |                            |                                                                    |                                                                                                     | RRRV<br>p.u. | $u_c$ value<br>p.u. | $K_{pp}$<br>p.u. |                                  |
| 1                                                                                                                                                                                                                            | Os<br>CdOs <sup>b</sup>    | 0                                                                  | $t_{arc\ min}$ first-pole-to-clear<br>( $k_{pp} = 2,0$ and 2,5)                                     | 1,0          | 1,0                 | 2,5              | 100                              |
| 2                                                                                                                                                                                                                            | Os<br>CdOs <sup>b</sup>    | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                    | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm<br>$t_{arc\ min}$                                 | 1,0          | 1,0                 | 2,5              | 100                              |
| 3                                                                                                                                                                                                                            | Os                         | $T \times 42^\circ / 360^\circ$                                    | $t_{arc\ max}$ first-pole-to-clear<br>( $k_{pp} = 2,0$ and 2,5)                                     | 1,0          | 1,0                 | 2,5              | 100                              |
| 4                                                                                                                                                                                                                            | Os                         | $T \times 90^\circ / 360^\circ$                                    | $t_{arc\ min}$ second-pole-to-clear ( $k_{pp} = 2,0$ )<br><br>last-pole-to-clear ( $k_{pp} = 2,5$ ) | 0,95         | 0,97                | 2,0              | 89                               |
| 5                                                                                                                                                                                                                            | Os                         | $T \times 132^\circ / 360^\circ$                                   | $t_{arc\ max}$ second-pole-to-clear ( $k_{pp} = 2,0$ )<br><br>last-pole-to-clear ( $k_{pp} = 2,5$ ) | 0,95         | 0,97                | 2,0              | 89                               |
| 6                                                                                                                                                                                                                            | Os                         | $T \times 162^\circ / 360^\circ$                                   | $t_{arc\ max}$ last-pole-to-clear ( $k_{pp} = 2,0$ )                                                | 0,70         | 0,77                | 2,0              | 57                               |
| <sup>a</sup> Abbreviated terms are in accordance with Table 6.<br><sup>b</sup> Test for OP2(b), the Cd operation can be carried out under no-load conditions, see also Table 7.<br><sup>c</sup> Where $d\alpha = 18^\circ$ . |                            |                                                                    |                                                                                                     |              |                     |                  |                                  |

#### E.4.4 Combination of first-pole-to-clear factors 1,3 and 1,5 for test duty T100a

The corresponding tests can be found in Table E.11.

Arc durations, current loop parameters and  $di/dt$  values depending on degree of asymmetry and DC time constant can be found in Table E.12, Table E.13, Table E.15 and Table E.16. In case of failure during test 5 or test 6, the circuit-breaker can be reconditioned and test 4 to test 6 shall be repeated. The test series is passed if no further failure occurs.

Re-conditioning of the circuit-breaker, when necessary, shall comply with the requirements of 7.102.9.6 of IEC 62271-100:2021.

**Table E.11 – Procedure for combining  $k_{pp} = 1,5$  and 1,3 for test-duty T100a**

| Test no. | Test sequence | Asymmetry condition                       | Arc duration <sup>a</sup><br>(additional to $t_{arc \min}$ )<br><br>ms | Test condition<br>(with reference to the three-phase system)                                        | TRV              |                            |                      | Injected current<br>$di/dt$<br><br>% |
|----------|---------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------------------|
|          |               |                                           |                                                                        |                                                                                                     | RRRV<br><br>p.u. | $u_c$<br>value<br><br>p.u. | $k_{pp}$<br><br>p.u. |                                      |
| 1        | Os            | Major loop intermediate<br>(col. 7 and 8) | 0                                                                      | $t_{arc \min}$ first-pole-to-clear<br>( $k_{pp} = 1,3$ and 1,5)                                     | 1,0              | 1,0                        | 1,5                  | (col. 9)                             |
| 2        | Os            | Major loop intermediate<br>(col. 7 and 8) | $-T \times da/360^\circ$                                               | Re-ignition in the first-pole-to-clear to confirm $t_{arc \min}$                                    | 1,0              | 1,0                        | 1,5                  | (col. 9)                             |
| 3        | Os            | Major loop rated<br>(col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a1} - T \times da/360^\circ$                                | $t_{arc \max}$ (= $t_{arc1}$ ) first-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,3$ and 1,5)                        | 1,0              | 1,0                        | 1,5                  | (col. 5)                             |
| 4        | Os            | Major loop rated<br>(col. 3 and 4)        | (col. 13)                                                              | $t_{arc \min}$ second-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,3$ )<br><br>last-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,5$ ) | 0,95             | 0,97                       | 1,3                  | (col. 12)                            |
| 5        | Os            | Major loop rated<br>(col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a3} - T \times da/360^\circ$                                | $t_{arc \max}$ (= $t_{arc3}$ ) second-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,3$ )                              | 0,95             | 0,97                       | 1,3                  | (col. 12)                            |
| 6        | Os            | Major loop rated<br>(col. 3 and 4)        | $\Delta t_{a2} - T \times da/360^\circ$                                | $t_{arc \max}$ (= $t_{arc2}$ ) last-pole-to-clear ( $k_{pp} = 1,5$ )                                | 0,70             | 0,58                       | 1,5                  | (col. 12)                            |

Tests 1, 2, 3 and 6: Column numbers refer to columns in Table E.12 or Table E.15.

Tests 4 and 5: Column numbers refer to columns in Table E.13 or Table E.16.

Tests 5 and 6 can be combined applying test voltage of test 5 and arcing time of test 6.

<sup>a</sup> Where

$\Delta t_{a1}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.12 or Table E.15, column 6;

$\Delta t_{a2}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.12 or Table E.15, column 14;

$\Delta t_{a3}$  is the relevant parameter to be selected from Table E.13 or Table E.16, column 14;

$da = 18^\circ$

Table E.12 – Required test parameters for different asymmetrical conditions in the case of  $k_{pp} = 1,5, f_r = 50 \text{ Hz}$ 

| Column 1 | 2                     | First-pole-to-clear (major loop) |                                    |                                       |                                        | Intermediate asymmetry <sup>a</sup> |                      |                                       | Last-pole-to-clear (major extended loop) |                                    |                                      |                       |                                       |
|----------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
|          |                       | 3                                | 4                                  | 5                                     | 6                                      | 7                                   | 8                    | 9                                     | 10                                       | 11                                 | 12                                   | 13                    | 14                                    |
| $\tau$   | Minimum clearing time | $I_{peak}$                       | Duration of the loop, $\Delta t_1$ | d/dt first-pole-to-clear <sup>b</sup> | Maximum arcing window, $\Delta t_{a1}$ | $I_{peak}$                          | Duration of the loop | d/dt first-pole to clear <sup>b</sup> | $I_{peak}$                               | Duration of the loop, $\Delta t_2$ | d/dt last-pole-to-clear <sup>b</sup> | Minimum arcing window | Maximum arcing window $\Delta t_{a2}$ |
| ms       | ms                    | p.u.                             | ms                                 | %                                     | ms                                     | p.u.                                | ms                   | %                                     | p.u.                                     | ms                                 | %                                    | ms                    | ms                                    |
| 45       | $10,0 < t \leq 27,0$  | 1,52                             | 13,6                               | 92,7                                  | 4,1                                    | 1,24                                | 11,6                 | 99,2                                  | 1,52                                     | 15,0                               | 82,2                                 | 5,6                   | 10,6                                  |
|          | $27,0 < t \leq 47,5$  | 1,33                             | 12,2                               | 97,8                                  | 3,8                                    | 1,16                                | 11,0                 | 100                                   | 1,33                                     | 13,7                               | 85,4                                 | 5,4                   | 9,8                                   |
|          | $47,5 < t \leq 68,0$  | 1,21                             | 11,4                               | 99,6                                  | 3,7                                    | 1,10                                | 10,6                 | 100                                   | 1,21                                     | 12,9                               | 86,5                                 | 5,2                   | 9,2                                   |
| 60       | $10,0 < t \leq 27,0$  | 1,61                             | 14,2                               | 86,9                                  | 4,3                                    | 1,29                                | 11,9                 | 97,8                                  | 1,61                                     | 15,6                               | 78,5                                 | 5,7                   | 11,1                                  |
|          | $27,0 < t \leq 47,5$  | 1,44                             | 12,9                               | 94,1                                  | 4,0                                    | 1,21                                | 11,4                 | 99,2                                  | 1,44                                     | 14,3                               | 83,0                                 | 5,5                   | 10,2                                  |
|          | $47,5 < t \leq 67,5$  | 1,31                             | 12,1                               | 97,4                                  | 3,8                                    | 1,15                                | 11,0                 | 99,8                                  | 1,31                                     | 13,6                               | 85,1                                 | 5,4                   | 9,7                                   |
| 75       | $67,5 < t \leq 88,0$  | 1,22                             | 11,4                               | 99,0                                  | 3,7                                    | 1,11                                | 10,7                 | 100                                   | 1,22                                     | 13,0                               | 86,1                                 | 5,3                   | 9,3                                   |
|          | $10,0 < t \leq 27,0$  | 1,67                             | 14,8                               | 81,8                                  | 4,4                                    | 1,33                                | 12,1                 | 96,7                                  | 1,67                                     | 16,1                               | 75,3                                 | 5,8                   | 11,3                                  |
|          | $27,0 < t \leq 47,5$  | 1,51                             | 13,4                               | 90,2                                  | 4,2                                    | 1,25                                | 11,6                 | 98,3                                  | 1,51                                     | 14,9                               | 80,5                                 | 5,6                   | 10,6                                  |
|          | $47,5 < t \leq 67,5$  | 1,39                             | 12,6                               | 94,7                                  | 3,9                                    | 1,19                                | 11,2                 | 99,2                                  | 1,39                                     | 14,1                               | 83,4                                 | 5,5                   | 10,1                                  |
|          | $67,5 < t \leq 87,5$  | 1,30                             | 12,0                               | 97,2                                  | 3,8                                    | 1,15                                | 10,9                 | 99,6                                  | 1,30                                     | 13,5                               | 84,9                                 | 5,3                   | 9,7                                   |
|          | $87,5 < t \leq 108$   | 1,23                             | 11,5                               | 98,6                                  | 3,7                                    | 1,11                                | 10,7                 | 99,9                                  | 1,23                                     | 13,1                               | 85,8                                 | 5,2                   | 9,3                                   |

|          |                       | First-pole-to-clear (major loop) |                                    |                                          |                                        | Intermediate asymmetry <sup>a</sup> |                      |                                          | Last-pole-to-clear (major extended loop) |                                    |                                         |                       |                                       |
|----------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Column 1 | 2                     | 3                                | 4                                  | 5                                        | 6                                      | 7                                   | 8                    | 9                                        | 10                                       | 11                                 | 12                                      | 13                    | 14                                    |
| $\tau$   | Minimum clearing time | $I_{peak}$                       | Duration of the loop, $\Delta t_1$ | $di/dr$ first-pole-to-clear <sup>b</sup> | Maximum arcing window, $\Delta I_{a1}$ | $I_{peak}$                          | Duration of the loop | $di/dr$ first-pole to clear <sup>b</sup> | $I_{peak}$                               | Duration of the loop, $\Delta t_2$ | $di/dr$ last-pole-to-clear <sup>b</sup> | Minimum arcing window | Maximum arcing window $\Delta I_{a2}$ |
| ms       | ms                    | p.u.                             | ms                                 | %                                        | ms                                     | p.u.                                | ms                   | %                                        | p.u.                                     | ms                                 | %                                       | ms                    | ms                                    |
| 120      | $10,0 < t \leq 27,0$  | 1,78                             | 15,7                               | 70,2                                     | 4,8                                    | 1,38                                | 12,5                 | 94,1                                     | 1,78                                     | 17,0                               | 68,3                                    | 6,0                   | 11,9                                  |
|          | $27,0 < t \leq 47,0$  | 1,66                             | 14,6                               | 80,0                                     | 4,4                                    | 1,32                                | 12,1                 | 96,0                                     | 1,66                                     | 15,9                               | 74,1                                    | 5,8                   | 11,3                                  |
|          | $47,0 < t \leq 67,5$  | 1,56                             | 13,8                               | 86,4                                     | 4,3                                    | 1,27                                | 11,8                 | 97,3                                     | 1,56                                     | 15,2                               | 78,0                                    | 5,7                   | 10,8                                  |
|          | $67,5 < t \leq 87,5$  | 1,47                             | 13,2                               | 90,6                                     | 4,1                                    | 1,23                                | 11,5                 | 98,1                                     | 1,47                                     | 14,6                               | 80,7                                    | 5,6                   | 10,4                                  |
|          | $87,5 < t \leq 108$   | 1,40                             | 12,6                               | 93,5                                     | 4,0                                    | 1,20                                | 11,3                 | 98,7                                     | 1,40                                     | 14,1                               | 82,5                                    | 5,5                   | 10,1                                  |

<sup>a</sup> Intermediate asymmetry, see 3.16.

<sup>b</sup> Corresponding  $di/dr$  at current zero (percentage of the  $di/dr$  of the symmetrical rated short-circuit current).

a Intermediate asymmetry, see 3.16.

Corresponding  $di/dr$  at current zero (percentage of the  $di/dr$  of the symmetrical rated short-circuit current).

Table E.13 – Required test parameters for different asymmetrical conditions in the case of a  $k_{pp} = 1,3$ ,  $f_r = 50$  Hz

| Column 1 | 2                     | First-pole-to-clear (major loop) |                                       |                                        |                                        | Intermediate asymmetry <sup>a</sup> |                      |                                        | Second-pole-to-clear (major extended loop) |                                       |                                         |                       |                                        |
|----------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|
|          |                       | 3                                | 4                                     | 5                                      | 6                                      | 7                                   | 8                    | 9                                      | 10                                         | 11                                    | 12                                      | 13                    | 14                                     |
| $\tau$   | Minimum clearing time | $I_{peak}$                       | Duration of the loop, $\Delta t_{r1}$ | di/dt first-pole-to-clear <sup>b</sup> | Maximum arcing window, $\Delta t_{a1}$ | $I_{peak}$                          | Duration of the loop | di/dt first-pole-to-clear <sup>b</sup> | $I_{peak}$                                 | Duration of the loop, $\Delta t_{r3}$ | di/dt second-pole-to-clear <sup>b</sup> | Minimum arcing window | Maximum arcing window, $\Delta t_{a3}$ |
| ms       | ms                    | p.u.                             | ms                                    | %                                      | ms                                     | p.u.                                | ms                   | %                                      | p.u.                                       | ms                                    | %                                       | ms                    | ms                                     |
| 45       | $10,0 < t \leq 27,0$  | 1,52                             | 13,6                                  | 92,7                                   | 4,1                                    | 1,24                                | 11,6                 | 99,2                                   | 1,52                                       | 14,4                                  | 84,0                                    | 5,0                   | 10,0                                   |
|          | $27,0 < t \leq 47,5$  | 1,33                             | 12,2                                  | 97,8                                   | 3,8                                    | 1,16                                | 11,0                 | 100                                    | 1,33                                       | 13,1                                  | 88,1                                    | 4,7                   | 9,1                                    |
|          | $47,5 < t \leq 68,0$  | 1,21                             | 11,4                                  | 99,6                                   | 3,7                                    | 1,10                                | 10,6                 | 100                                    | 1,21                                       | 12,3                                  | 89,5                                    | 4,5                   | 8,6                                    |
|          | $10,0 < t \leq 27,0$  | 1,61                             | 14,2                                  | 86,9                                   | 4,3                                    | 1,29                                | 11,9                 | 97,8                                   | 1,61                                       | 15,1                                  | 79,2                                    | 4,4                   | 10,5                                   |
| 75       | $27,0 < t \leq 47,5$  | 1,44                             | 12,9                                  | 94,1                                   | 4,0                                    | 1,21                                | 11,4                 | 99,2                                   | 1,44                                       | 13,8                                  | 84,9                                    | 5,1                   | 9,6                                    |
|          | $47,5 < t \leq 67,5$  | 1,31                             | 12,1                                  | 97,4                                   | 3,8                                    | 1,15                                | 11,0                 | 99,8                                   | 1,31                                       | 12,9                                  | 87,5                                    | 4,9                   | 9,1                                    |
|          | $67,5 < t \leq 88,0$  | 1,22                             | 11,4                                  | 99,0                                   | 3,7                                    | 1,11                                | 10,7                 | 100                                    | 1,22                                       | 12,3                                  | 88,8                                    | 4,7                   | 8,6                                    |
|          | $10,0 < t \leq 27,0$  | 1,67                             | 14,8                                  | 81,8                                   | 4,4                                    | 1,33                                | 12,1                 | 96,7                                   | 1,67                                       | 15,6                                  | 74,9                                    | 5,3                   | 10,8                                   |
| 75       | $27,0 < t \leq 47,5$  | 1,51                             | 13,4                                  | 90,2                                   | 4,2                                    | 1,25                                | 11,6                 | 98,3                                   | 1,51                                       | 14,3                                  | 81,6                                    | 5,0                   | 10,0                                   |
|          | $47,5 < t \leq 67,5$  | 1,39                             | 12,6                                  | 94,7                                   | 3,9                                    | 1,19                                | 11,2                 | 99,2                                   | 1,39                                       | 13,4                                  | 85,2                                    | 4,8                   | 9,4                                    |
|          | $67,5 < t \leq 87,5$  | 1,30                             | 12,0                                  | 97,2                                   | 3,8                                    | 1,15                                | 10,9                 | 99,6                                   | 1,30                                       | 12,8                                  | 87,2                                    | 4,7                   | 9,0                                    |
|          | $87,5 < t \leq 108$   | 1,23                             | 11,5                                  | 98,6                                   | 3,7                                    | 1,11                                | 10,7                 | 99,9                                   | 1,23                                       | 12,4                                  | 88,3                                    | 4,6                   | 8,7                                    |

| Column 1 | 2                     | 3          | 4                                  | 5                                        | 6                                      | Intermediate asymmetry <sup>a</sup> |                      |                                          | Second-pole-to-clear (major extended loop) |                                    |                                           |                       |                                        |
|----------|-----------------------|------------|------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| Column 1 | 2                     | 3          | 4                                  | 5                                        | 6                                      | 7                                   | 8                    | 9                                        | 10                                         | 11                                 | 12                                        | 13                    | 14                                     |
| $\tau$   | Minimum clearing time | $I_{peak}$ | Duration of the loop, $\Delta t_1$ | $di/dr$ first-pole-to-clear <sup>b</sup> | Maximum arcing window, $\Delta V_{a1}$ | $I_{peak}$                          | Duration of the loop | $di/dr$ first-pole-to-clear <sup>b</sup> | $I_{peak}$                                 | Duration of the loop, $\Delta t_3$ | $di/dr$ second-pole-to-clear <sup>b</sup> | Minimum arcing window | Maximum arcing window, $\Delta V_{a3}$ |
| ms       | ms                    | p.u.       | ms                                 | %                                        | ms                                     | p.u.                                | ms                   | %                                        | p.u.                                       | ms                                 | %                                         | ms                    | ms                                     |
|          | $10,0 < t \leq 27,0$  | 1,78       | 15,7                               | 70,2                                     | 4,8                                    | 1,38                                | 12,5                 | 94,1                                     | 1,78                                       | 16,6                               | 65,5                                      | 5,6                   | 11,4                                   |
|          | $27,0 < t \leq 47,0$  | 1,66       | 14,6                               | 80,0                                     | 4,4                                    | 1,32                                | 12,1                 | 96,0                                     | 1,66                                       | 15,3                               | 73,2                                      | 5,3                   | 10,8                                   |
| 120      | $47,0 < t \leq 67,5$  | 1,56       | 13,8                               | 86,4                                     | 4,3                                    | 1,27                                | 11,8                 | 97,3                                     | 1,56                                       | 14,6                               | 78,3                                      | 5,1                   | 10,3                                   |
|          | $67,5 < t \leq 87,5$  | 1,47       | 13,2                               | 90,6                                     | 4,1                                    | 1,23                                | 11,5                 | 98,1                                     | 1,47                                       | 14,0                               | 81,7                                      | 5,0                   | 9,8                                    |
|          | $87,5 < t \leq 108$   | 1,40       | 12,6                               | 93,5                                     | 4,0                                    | 1,20                                | 11,3                 | 98,7                                     | 1,40                                       | 13,5                               | 84,0                                      | 4,8                   | 9,5                                    |

<sup>a</sup> Intermediate asymmetry, see 3.16.

<sup>b</sup> Corresponding  $di/dr$  at current zero (percentage of the  $di/dr$  of the symmetrical rated short-circuit current).

<sup>a</sup> Intermediate asymmetry, see 3.16.

b. Corresponding  $dI/dt$  at current zero (percentage of the symmetrical rated short-circuit current).

|          |                       | First-pole-to-clear (major loop) |                                    |                                          |                                        | Intermediate asymmetry <sup>a</sup> |                      |                                          | Second-pole-to-clear (major extended loop) |                                   |                                           |                       |                                        |
|----------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| Column 1 | 2                     | 3                                | 4                                  | 5                                        | 6                                      | 7                                   | 8                    | 9                                        | 10                                         | 11                                | 12                                        | 13                    | 14                                     |
| $\tau$   | Minimum clearing time | $I_{peak}$                       | Duration of the loop, $\Delta t_1$ | $dI/dr$ first-pole-to-clear <sup>b</sup> | Maximum arcing window, $\Delta I_{a1}$ | $I_{peak}$                          | Duration of the loop | $dI/dr$ first-pole-to-clear <sup>b</sup> | $I_{peak}$                                 | Duration of the loop $\Delta t_3$ | $dI/dr$ second-pole-to-clear <sup>b</sup> | Minimum arcing window | Maximum arcing window, $\Delta I_{a3}$ |
| ms       | ms                    | p.u.                             | ms                                 | %                                        | ms                                     | p.u.                                | ms                   | %                                        | p.u.                                       | ms                                | %                                         | ms                    | ms                                     |
| 120      | $10,0 < t \leq 27,0$  | 1,78                             | 15,7                               | 70,2                                     | 4,8                                    | 1,38                                | 12,5                 | 94,1                                     | 1,78                                       | 16,3                              | 65,9                                      | 5,3                   | 11,2                                   |
|          | $27,0 < t \leq 47,0$  | 1,66                             | 14,6                               | 80,0                                     | 4,4                                    | 1,32                                | 12,1                 | 96,0                                     | 1,66                                       | 15,2                              | 74,5                                      | 5,0                   | 10,5                                   |
|          | $47,0 < t \leq 67,5$  | 1,56                             | 13,8                               | 86,4                                     | 4,3                                    | 1,27                                | 11,8                 | 97,3                                     | 1,56                                       | 14,4                              | 80,0                                      | 4,8                   | 10,0                                   |
|          | $67,5 < t \leq 87,5$  | 1,47                             | 13,2                               | 90,6                                     | 4,1                                    | 1,23                                | 11,5                 | 98,1                                     | 1,47                                       | 13,7                              | 83,8                                      | 4,7                   | 9,5                                    |
|          | $87,5 < t \leq 108$   | 1,40                             | 12,6                               | 93,5                                     | 4,0                                    | 1,20                                | 11,3                 | 98,7                                     | 1,40                                       | 13,2                              | 86,3                                      | 4,5                   | 9,1                                    |

<sup>a</sup> Intermediate asymmetry, see 3.17.

<sup>b</sup> Corresponding  $dI/dr$  at current zero (percentage of the  $dI/dr$  of the symmetrical rated short-circuit current).

b. Corresponding  $di/dt$  at current zero (percentage of the symmetrical rated short-circuit current).

b. Corresponding  $di/dt$  at current zero (percentage of the symmetrical rated short-circuit current).

Table E.15 – Required test parameters for different asymmetrical conditions in the case of  $k_{pp} = 1,5$ ,  $f_r = 60$  Hz

| Column 1 | 2                     | First-pole-to-clear (major loop) |                                          |                                             | Intermediate asymmetry <sup>a</sup>          |                    |                            | Last-pole-to-clear (major extended loop)    |                    |                                          |                                            |                             |                                              |
|----------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|
| $\tau$   | Minimum clearing time | 3                                | 4                                        | 5                                           | 6                                            | 7                  | 8                          | 9                                           | 10                 | 11                                       | 12                                         | 13                          | 14                                           |
| ms       | ms                    | $I_{peak}$<br>p.u.               | Duration of the loop, $\Delta t_1$<br>ms | di/dt first-pole-to-clear <sup>b</sup><br>% | Maximum arcing window, $\Delta t_{a1}$<br>ms | $I_{peak}$<br>p.u. | Duration of the loop<br>ms | di/dt first-pole-to-clear <sup>b</sup><br>% | $I_{peak}$<br>p.u. | Duration of the loop, $\Delta t_2$<br>ms | di/dt last-pole-to-clear <sup>b</sup><br>% | Minimum arcing window<br>ms | Maximum arcing window, $\Delta t_{a2}$<br>ms |
| 45       | $8,5 < t \leq 22,5$   | 1,58                             | 11,6                                     | 89,1                                        | 3,5                                          | 1,28               | 9,8                        | 98,4                                        | 1,58               | 12,8                                     | 79,9                                       | 4,7                         | 9,1                                          |
|          | $22,5 < t \leq 39,5$  | 1,40                             | 10,5                                     | 95,6                                        | 3,3                                          | 1,19               | 9,4                        | 99,5                                        | 1,40               | 11,8                                     | 84,0                                       | 4,5                         | 8,4                                          |
|          | $39,5 < t \leq 56,5$  | 1,27                             | 9,8                                      | 98,4                                        | 3,1                                          | 1,13               | 9,0                        | 100                                         | 1,27               | 11,1                                     | 85,7                                       | 4,4                         | 7,9                                          |
|          | $56,5 < t \leq 73,0$  | 1,19                             | 9,3                                      | 99,5                                        | 3,0                                          | 1,09               | 8,8                        | 100                                         | 1,19               | 10,7                                     | 86,4                                       | 4,3                         | 7,6                                          |
| 60       | $8,5 < t \leq 22,5$   | 1,66                             | 12,2                                     | 82,8                                        | 3,7                                          | 1,32               | 10,0                       | 96,9                                        | 1,66               | 13,3                                     | 75,9                                       | 4,8                         | 9,4                                          |
|          | $22,5 < t \leq 39,5$  | 1,50                             | 11,1                                     | 91,0                                        | 3,4                                          | 1,24               | 9,6                        | 98,5                                        | 1,50               | 12,4                                     | 81,0                                       | 4,7                         | 8,8                                          |
|          | $39,5 < t \leq 56,5$  | 1,38                             | 10,4                                     | 95,3                                        | 3,3                                          | 1,18               | 9,3                        | 99,3                                        | 1,38               | 11,7                                     | 83,7                                       | 4,5                         | 8,3                                          |
|          | $56,5 < t \leq 73,0$  | 1,29                             | 9,9                                      | 97,6                                        | 3,1                                          | 1,14               | 9,1                        | 99,7                                        | 1,29               | 11,2                                     | 85,2                                       | 4,4                         | 8,0                                          |
|          | $73,0 < t \leq 90,0$  | 1,22                             | 9,5                                      | 98,6                                        | 3,1                                          | 1,10               | 8,9                        | 100                                         | 1,22               | 10,8                                     | 85,9                                       | 4,4                         | 7,7                                          |

**Intermediate asymmetry, see 3.17.**

Corresponding  $di/dt$  at current zero (percentage of the  $di/dt$  of the symmetrical rated short-circuit current).



| Column 1         | 2                     | First-pole-to-clear (major loop) |                                    |                                                         |                                        | Intermediate asymmetry <sup>a</sup> |                      |                                                         |            | Second-pole-to-clear (major extended loop) |                                                          |                       |                                        |
|------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|
|                  |                       | 3                                | 4                                  | 5                                                       | 6                                      | 7                                   | 8                    | 9                                                       | 10         | 11                                         | 12                                                       | 13                    | 14                                     |
| $\tau$<br><br>ms | Minimum clearing time | $I_{peak}$                       | Duration of the loop, $\Delta t_1$ | d <i>i</i> /d <i>t</i> first-pole-to-clear <sup>b</sup> | Maximum arcing window, $\Delta t_{at}$ | $I_{peak}$                          | Duration of the loop | d <i>i</i> /d <i>t</i> first-pole-to-clear <sup>b</sup> | $I_{peak}$ | Duration of the loop, $\Delta t_3$         | d <i>i</i> /d <i>t</i> second-pole-to-clear <sup>b</sup> | Minimum arcing window | Maximum arcing window, $\Delta t_{a3}$ |
|                  |                       | p.u.                             | ms                                 | %                                                       | ms                                     | p.u.                                | ms                   | %                                                       | p.u.       | ms                                         | %                                                        | ms                    | ms                                     |
|                  | $8,5 < t \leq 22,5$   | 1,72                             | 12,6                               | 77,4                                                    | 3,8                                    | 1,35                                | 10,2                 | 95,7                                                    | 1,72       | 13,3                                       | 71,3                                                     | 4,5                   | 9,2                                    |
|                  | $22,5 < t \leq 39,5$  | 1,57                             | 11,6                               | 86,5                                                    | 3,6                                    | 1,28                                | 9,8                  | 97,4                                                    | 1,57       | 12,3                                       | 78,6                                                     | 4,3                   | 8,6                                    |
|                  | $39,5 < t \leq 56,0$  | 1,46                             | 10,9                               | 91,9                                                    | 3,4                                    | 1,22                                | 9,5                  | 98,5                                                    | 1,46       | 11,6                                       | 82,6                                                     | 4,1                   | 8,1                                    |
| 75               | $56,0 < t \leq 73,0$  | 1,37                             | 10,3                               | 95,1                                                    | 3,2                                    | 1,18                                | 9,3                  | 99,2                                                    | 1,37       | 11,1                                       | 85,4                                                     | 4,0                   | 7,8                                    |
|                  | $73,0 < t \leq 90,0$  | 1,30                             | 9,9                                | 97,1                                                    | 3,1                                    | 1,14                                | 9,1                  | 99,6                                                    | 1,30       | 10,7                                       | 87,0                                                     | 3,9                   | 7,5                                    |
|                  | $90,0 < t \leq 107$   | 1,24                             | 9,6                                | 98,3                                                    | 3,1                                    | 1,12                                | 9,0                  | 99,8                                                    | 1,24       | 10,4                                       | 88,0                                                     | 3,8                   | 7,3                                    |
|                  | $8,5 < t \leq 22,5$   | 1,81                             | 13,4                               | 65,6                                                    | 4,1                                    | 1,40                                | 10,5                 | 93,2                                                    | 1,81       | 14,1                                       | 61,9                                                     | 4,7                   | 9,7                                    |
|                  | $22,5 < t \leq 39,0$  | 1,71                             | 12,5                               | 75,6                                                    | 3,8                                    | 1,35                                | 10,2                 | 95,0                                                    | 1,71       | 13,2                                       | 69,7                                                     | 4,5                   | 9,2                                    |
| 120              | $39,0 < t \leq 56,0$  | 1,62                             | 11,8                               | 82,2                                                    | 3,7                                    | 1,30                                | 10,0                 | 96,3                                                    | 1,62       | 12,5                                       | 75,0                                                     | 4,4                   | 8,8                                    |
|                  | $56,0 < t \leq 73,0$  | 1,54                             | 11,3                               | 87,1                                                    | 3,5                                    | 1,26                                | 9,8                  | 97,3                                                    | 1,54       | 12,0                                       | 78,8                                                     | 4,2                   | 8,5                                    |
|                  | $73,0 < t \leq 89,5$  | 1,47                             | 10,9                               | 90,6                                                    | 3,4                                    | 1,23                                | 9,6                  | 98,0                                                    | 1,47       | 11,6                                       | 81,5                                                     | 4,1                   | 8,1                                    |
|                  | $89,5 < t \leq 106$   | 1,41                             | 10,6                               | 93,0                                                    | 3,3                                    | 1,20                                | 9,4                  | 98,6                                                    | 1,41       | 11,3                                       | 83,6                                                     | 4,0                   | 7,9                                    |
|                  |                       |                                  |                                    |                                                         |                                        |                                     |                      |                                                         |            |                                            |                                                          |                       |                                        |

<sup>a</sup> Intermediate asymmetry, see 3.17.

<sup>b</sup> Corresponding d*i*/d*t* at current zero (percentage of the d*i*/d*t* of the symmetrical rated short-circuit current).

<sup>a</sup> Intermediate asymmetry, see 3.17.

b Corresponding  $dI/dt$  at current zero (percentage of the symmetrical rated short-circuit current).



## **Annex F** (informative)

### **Three-phase synthetic test circuits**

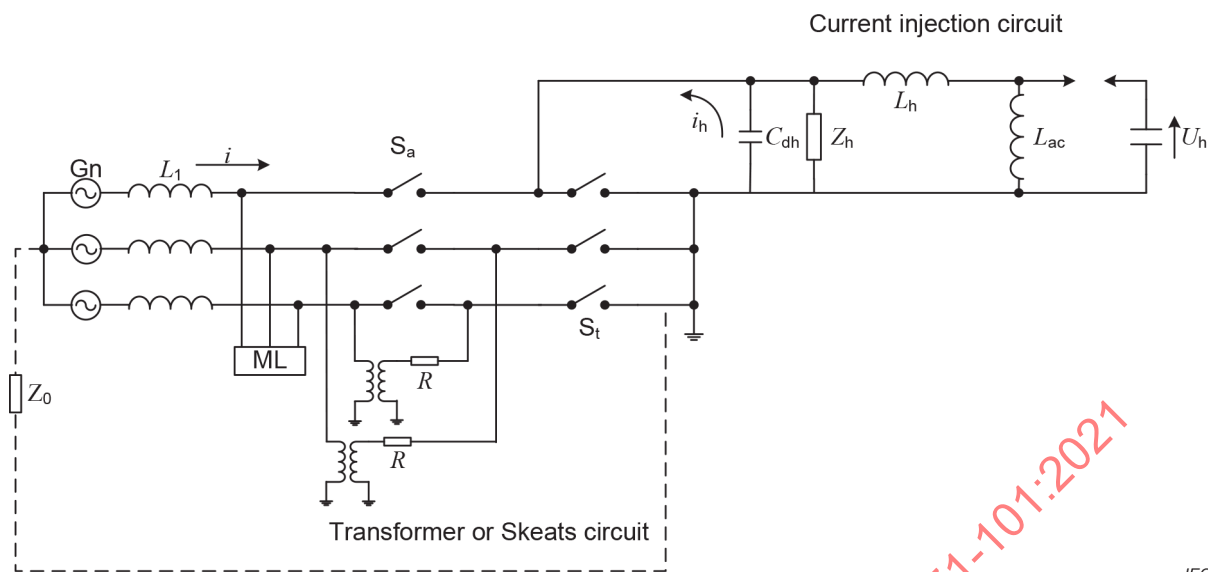
#### **F.1 General**

Annex F outlines some typical three-phase synthetic test circuits.

#### **F.2 Three-phase synthetic combined circuit**

This circuit is shown in Figure F.1 and consists of the following:

- a three-phase current circuit;  
When the circuit of Figure 28a of IEC 62271-100:2021, first-pole-to-clear factor 1,3, is used, an additional inductance is connected in the neutral connection of the current source.
- a three-phase auxiliary circuit-breaker;
- a voltage circuit: current injection parallel circuit, in accordance with Figure 145 and Figure 146 of IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018, connected between one phase and earth;  
Through this circuit, a four-parameter TRV is applied. Moreover, by means of an additional inductance  $L_{ac}$ , it is possible to obtain an oscillating recovery voltage at rated power frequency.
- two voltage circuits: duplicate (Skeats) circuits, in accordance with Figure 148 of IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018, connected between each one of the other two phases and earth;  
Through these circuits, two parameter TRVs, whose envelope satisfies the specified four-parameter TRV reference line, are applied.
- re-ignition circuits connected to each phase to prevent an early clearance of the test circuit-breaker and to check the longest possible arcing time.



IEC

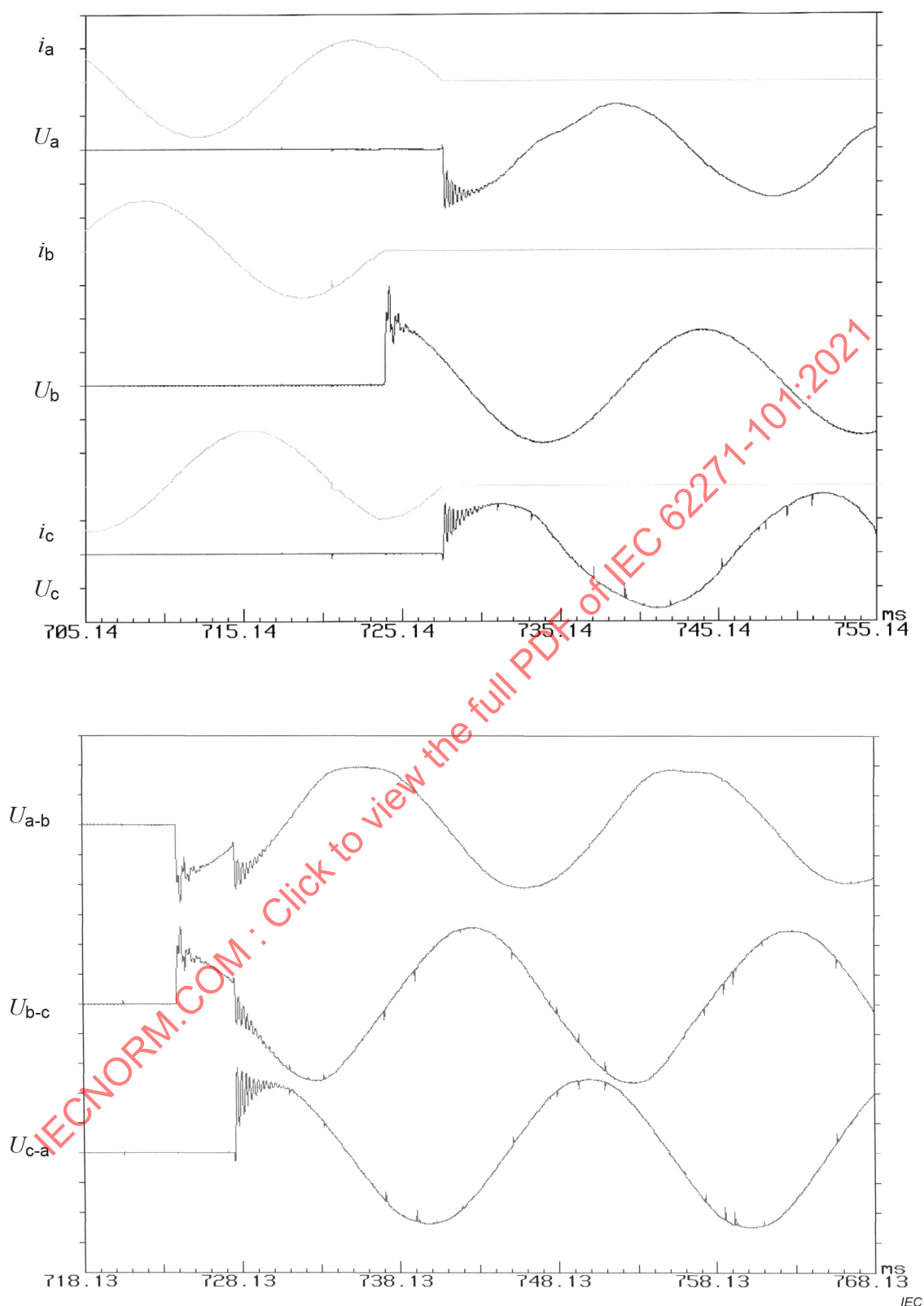
**Key**

|       |                                                                                |          |                                                            |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------|
| Gn    | Generator                                                                      | $C_{dh}$ | capacitance for time delay of voltage circuit              |
| $S_a$ | auxiliary circuit-breaker                                                      | $L_h$    | inductance of voltage circuit                              |
| $S_t$ | test circuit-breaker                                                           | $U_h$    | charging voltage of voltage circuit                        |
| $Z_0$ | impedance in the neutral connection (when circuit with $k_{pp} = 1,3$ is used) | $i$      | current of current circuit                                 |
| $L_1$ | inductance of current circuit                                                  | $i_h$    | injected current                                           |
| ML    | multi-loop re-ignition circuit                                                 | $L_{ac}$ | additional reactance when AC recovery voltage is requested |
| $Z_h$ | equivalent surge impedance of voltage circuit                                  |          |                                                            |

**Figure F.1 – Three-phase synthetic combined circuit**

The three voltage circuits shall be connected to the different phases according to the requirements of Table 2.

Figure F.2 shows the waveshapes of currents, phase-to-ground and phase-to-phase voltages during a three-phase synthetic breaking test (T100s;  $k_{pp} = 1,5$ ) performed according to the three-phase synthetic combined circuit.



**Figure F.2 – Waveshapes of currents, phase-to-ground and phase-to phase voltages during a three-phase synthetic test (T100s;  $k_{pp} = 1,5$ ) performed according to the three-phase synthetic combined circuit**

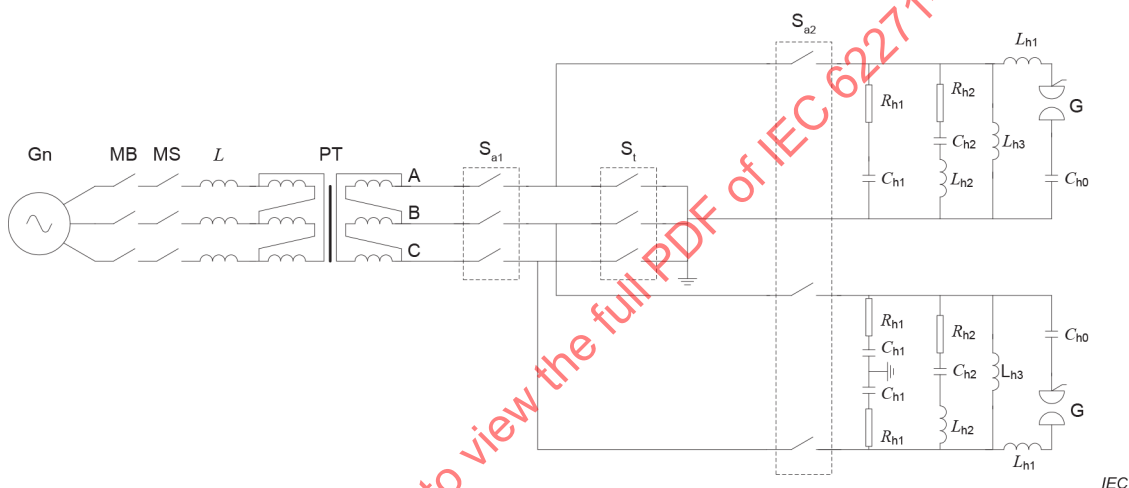
### F.3 Three-phase synthetic circuit with injection in all phases

This circuit is shown in Figure F.3 and consists of the following:

- a three-phase current circuit;
- a three-phase auxiliary circuit-breaker;
- a voltage circuit: current injection parallel circuit, in accordance with Figure 145 and Figure 146 of IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018, connected between one phase and earth;
- a voltage circuit, as above, connected between the other two phases;

This circuit differs only from a normal current injection parallel circuit in that the return conductor shall be properly insulated from earth. The recovery voltage can be equally distributed between the two last clearing poles with grading capacitors.

- re-ignition circuits connected to each phase to prevent an early clearing of the test circuit-breaker and to check the longest possible arcing time.



#### Key

##### Current circuit

|       |                                   |
|-------|-----------------------------------|
| Gn    | generator                         |
| MB    | master breaker                    |
| MS    | make switch                       |
| L     | inductance of the current circuit |
| PT    | power transformer                 |
| St    | test circuit-breaker              |
| Sa1,2 | auxiliary circuit-breakers        |

##### Voltage circuit

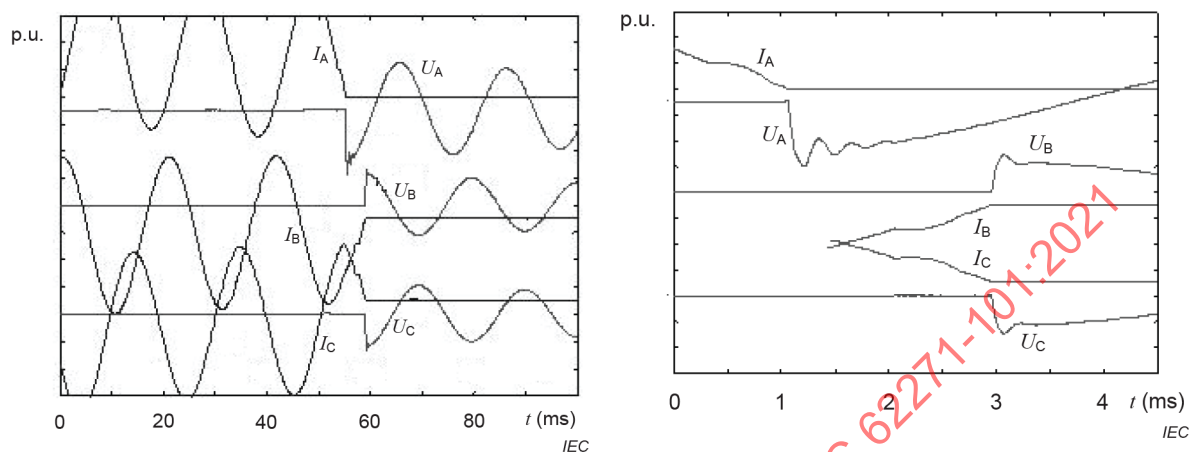
|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| Ch0   | main capacitor                |
| Ch1,2 | TRV control capacitor         |
| Rh1,2 | damping resistor              |
| Lh1,2 | inductance of voltage circuit |
| Lh3   | power-frequency inductance    |

**Figure F.3 – Three-phase synthetic circuit with injection in all phases for  $k_{pp} = 1,5$**

Through these circuits, a four-parameter TRV is applied. Moreover, by means of an additional inductance  $L_{ac}$ , it is possible to obtain an oscillating recovery voltage at rated power frequency.

The two voltage circuits shall be connected to the different phases according to the requirements of Table 2.

Figure F.4 shows the waveshapes of currents and phase-to-ground voltages during a three-phase synthetic breaking test (T100s;  $k_{pp} = 1,5$ ) performed according to the three-phase synthetic circuit with injection in all phases.



#### Key

$U_A, U_B, U_C$  voltages across circuit-breaker poles A, B and C, respectively

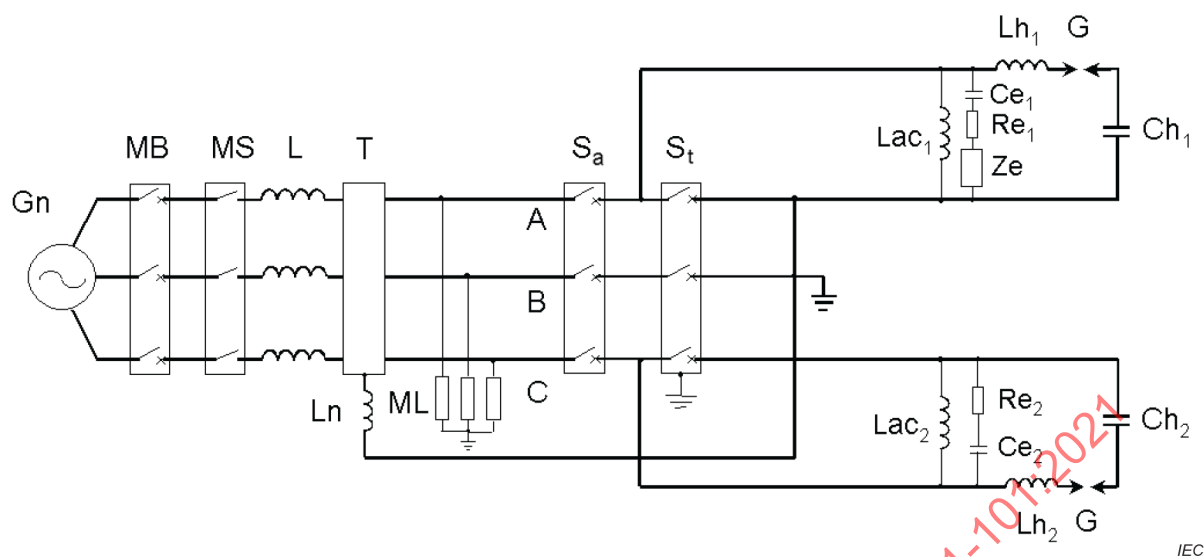
$I_A, I_B, I_C$  current through circuit-breaker poles A, B and C, respectively

**Figure F.4 – Waveshapes of currents and phase-to-ground voltages during a three-phase synthetic test (T100s;  $k_{pp} = 1,5$ ) performed according to the three-phase synthetic circuit with injection in all phases**

### F.4 Three-phase synthetic circuit with injection in two phases

This circuit is shown in Figure F.5 and consists of the following:

- a three-phase current circuit;  
When the circuit of Figure 28a of IEC 62271-100:2021, first-pole-to-clear-factor 1,3, is used, an additional inductance is connected in the neutral connection of the current source.
- a three-phase auxiliary circuit-breaker;
- a voltage circuit: current injection parallel circuit, in accordance with Figure 145 and Figure 146 of IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018, connected between one phase and earth;
- a voltage circuit, as above, connected between one of the other two phases and earth. As an alternative, this circuit could be a voltage injection parallel circuit in accordance with Figure 150 and Figure 151 of IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018;
- re-ignition circuits connected to each phase to prevent an early clearance of the test circuit-breaker and to check the longest possible arcing time.

**Key**

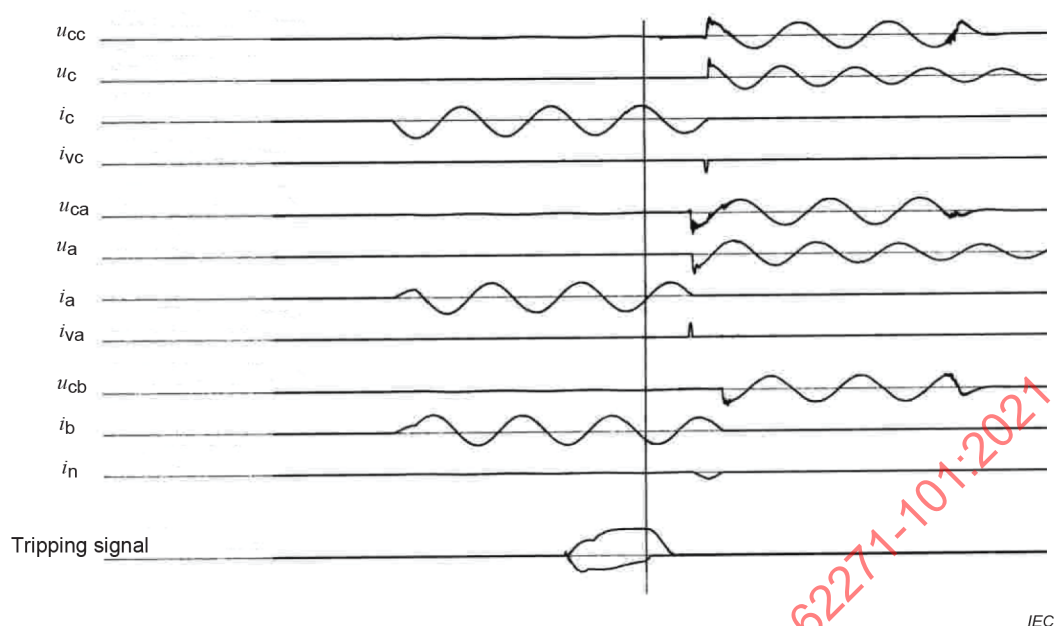
|                                        |                                    |                                                  |                                      |
|----------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Gn                                     | generator                          | MB                                               | back-up circuit-breaker              |
| MS                                     | making switch                      | T                                                | transformer                          |
| S <sub>a</sub>                         | auxiliary circuit-breaker          | S <sub>t</sub>                                   | test circuit-breaker                 |
| L                                      | inductance of current circuit      | Ln                                               | inductance in the neutral connection |
| ML                                     | multi-loop re-ignition circuit     | G                                                | trigger gap                          |
| Lac <sub>1</sub> ,<br>Lac <sub>2</sub> | inductance for AC recovery voltage | R <sub>e</sub> , C <sub>e</sub> , Z <sub>e</sub> | TRV components                       |
| Lh <sub>1</sub> , Lh <sub>2</sub>      | inductance of voltage circuit      | Ch <sub>1</sub> , Ch <sub>2</sub>                | main capacitor banks                 |

**Figure F.5 – Three-phase synthetic circuit for terminal fault tests with  $k_{pp} = 1,3$  (current injection method)**

Through these circuits, a four-parameter TRV is applied. Moreover, by means of an additional inductance  $L_{ac}$ , it is possible to obtain an oscillating recovery voltage at rated power frequency.

The two voltage circuits shall be connected to the different phases according to the requirements of Table 2.

Figure F.6 and Figure F.7 show the waveshapes of currents, phase-to-ground and phase-to-phase voltages during a three-phase synthetic breaking test (T100s;  $k_{pp} = 1,3$ ) performed according to the three-phase synthetic circuit with current injection in two phases.



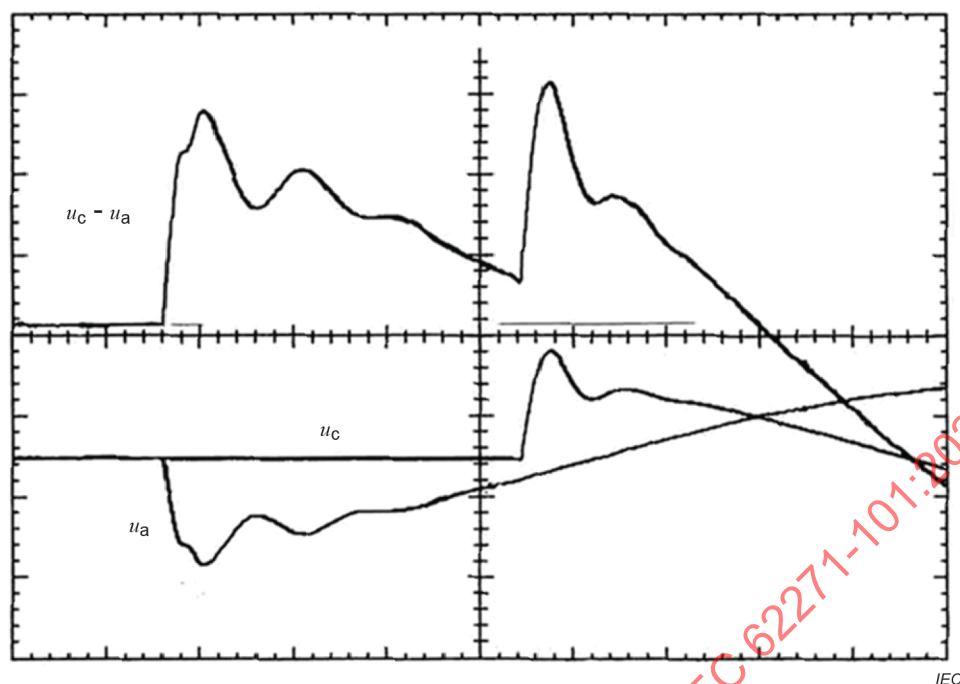
IEC

# Key

|          |                            |
|----------|----------------------------|
| $u_{cc}$ | voltage of current circuit |
| $u_c$    | TRV, RV                    |
| $i_{vc}$ | injected current           |
| $u_{ca}$ | voltage of current circuit |

|          |                            |
|----------|----------------------------|
| $u_a$    | TRV, RV                    |
| $i_{va}$ | injected current           |
| $u_{cb}$ | voltage of current circuit |
| $i_n$    | neutral                    |

**Figure F.6 – Waveshapes of currents and phase-to-ground voltages during a three-phase synthetic test (T100s;  $k_{pp} = 1,3$ ) performed according to the three-phase synthetic circuit shown in Figure F.5**

**Key**

$u_a$ ,  $u_c$  voltages across poles A and C of the test circuit-breaker, respectively

**Figure F.7 – TRV voltages waveshapes of the test circuit described in Figure F.5**

The circuit in Figure F.5 is not applying the correct voltage between phases, as no TRV and recovery voltage is applied on one phase. Therefore, care should be taken when using this circuit, for example for circuit-breaker having all three poles in the same enclosure. This circuit could be used in combination with multi-part testing.

## **Annex G** (informative)

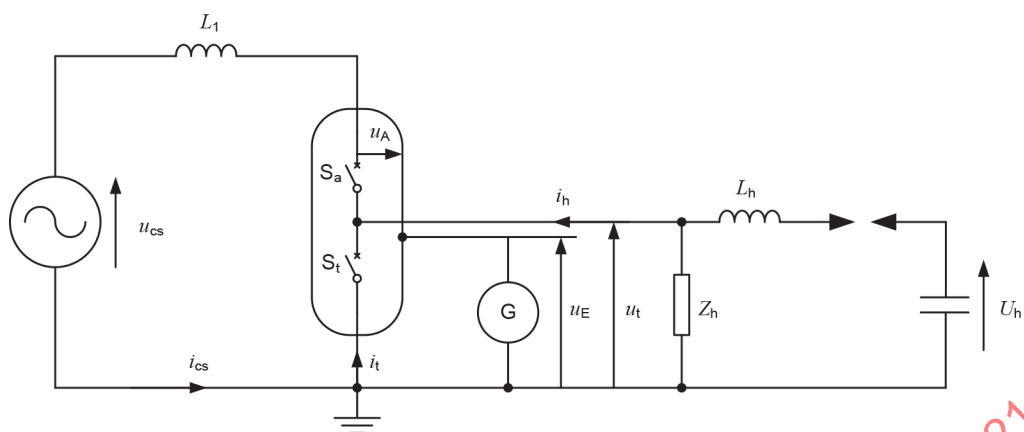
### **Examples of test circuits for metal-enclosed and dead tank circuit-breakers**

Annex G outlines some examples of synthetic test circuits for type testing relevant to short-circuit making, breaking and switching performance of metal-enclosed and dead tank circuit-breakers. Test procedures applicable for metal-enclosed and dead tank circuit-breakers are described in Annex I of IEC 62271-100:2021.

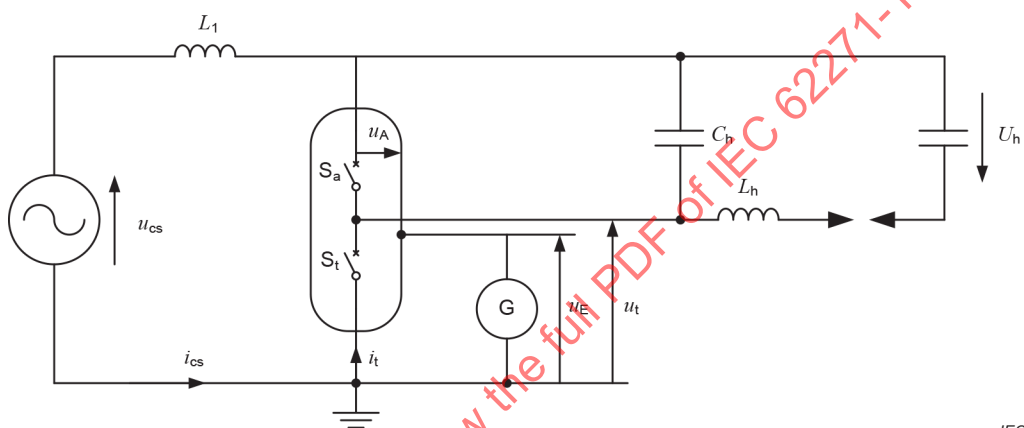
Many circuits are possible with different features. Some examples are given in Figure G.1 to Figure G.9 as follows:

- terminal fault tests on one or more units of metal-enclosed or dead tank circuit-breakers (Figure G.1 to Figure G.6);
- capacitive current switching tests (Figure G.7 to Figure G.9);
- out-of-phase making test (Figure G.10).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-101:2021



a) – Example of an injection circuit with voltage circuit in parallel with the unit(s) under test



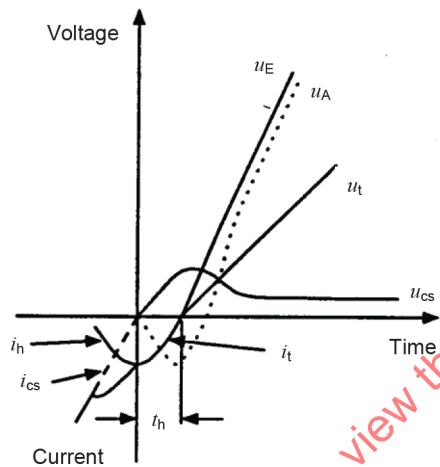
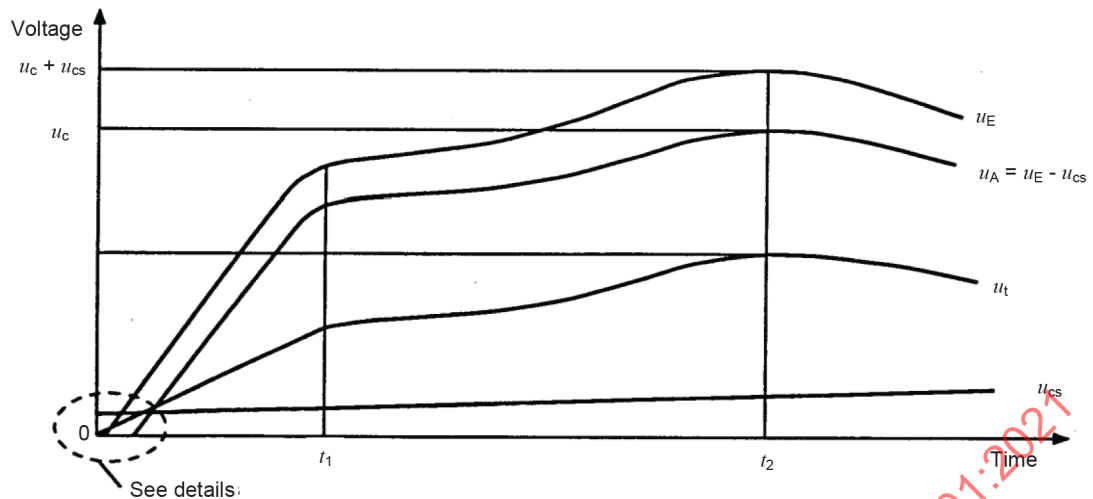
b) – Example of an injection circuit with voltage circuit in parallel with the unit(s) used as auxiliary circuit-breaker

#### Key

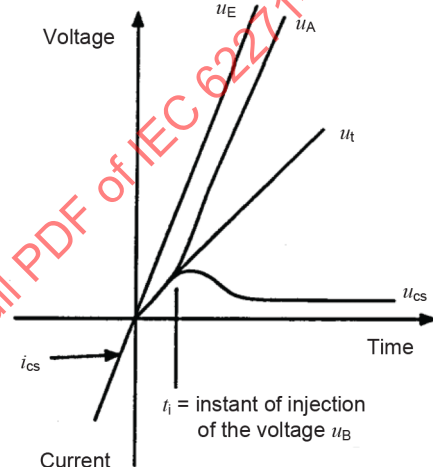
- $S_a$  unit(s) of the circuit-breaker used as auxiliary circuit-breaker
- $S_t$  unit(s) of the circuit-breaker used as test circuit-breaker
- $G$  supply of  $u_E$ , applied to the enclosure
- $u_{cs}$  voltage of the current circuit
- $i_{cs}$  current of the current circuit
- $i_h$  injected current
- $i_t$  current through  $S_t$
- $L_1$  inductance of the current circuit
- $L_h$  inductance of the voltage circuit
- $Z_h$  equivalent surge impedance of the voltage circuit
- $C_h$  capacitance of the voltage circuit which, together with  $L_h$ , controls the major part of the TRV

For explanation of  $u_t$ ,  $u_E$  and  $u_A$ , see Figure G.2.

**Figure G.1 – Example of a test circuit for unit testing  
(circuit-breaker with interaction due to gas circulation)**



Example of voltage waveshapes in a current injection circuit, in accordance with Figure G.1 a), with the voltage circuit in parallel with the unit(s) as test circuit-breaker

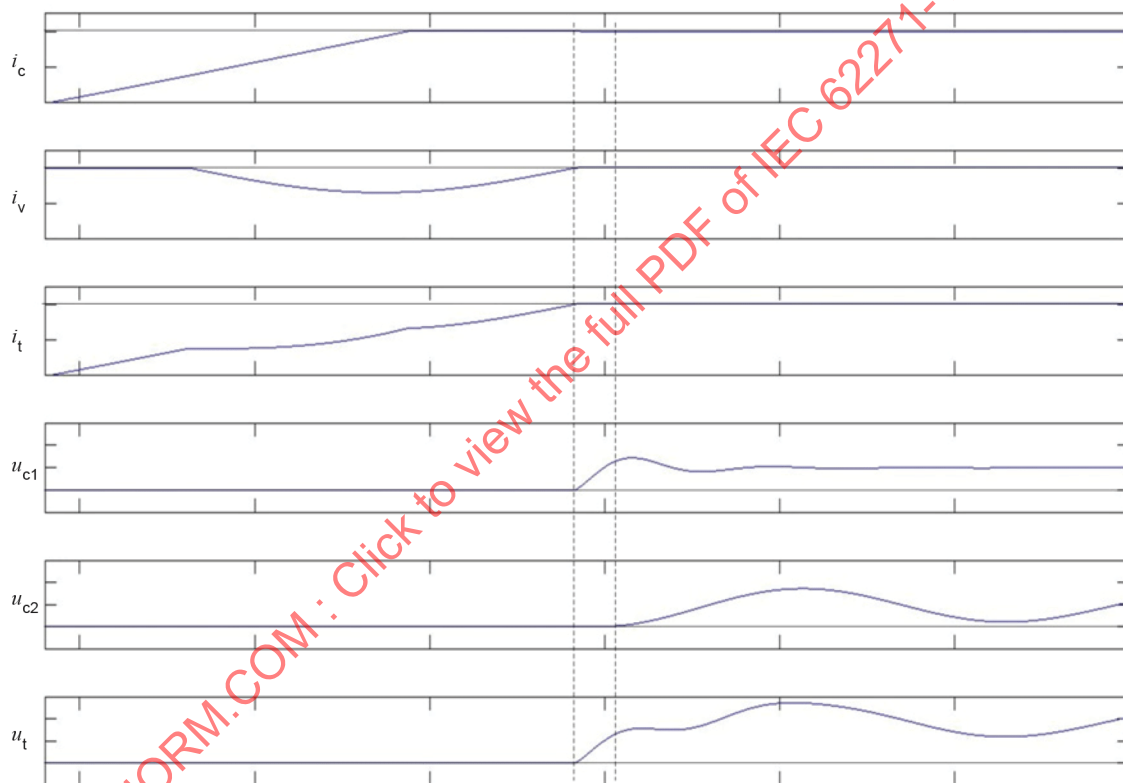
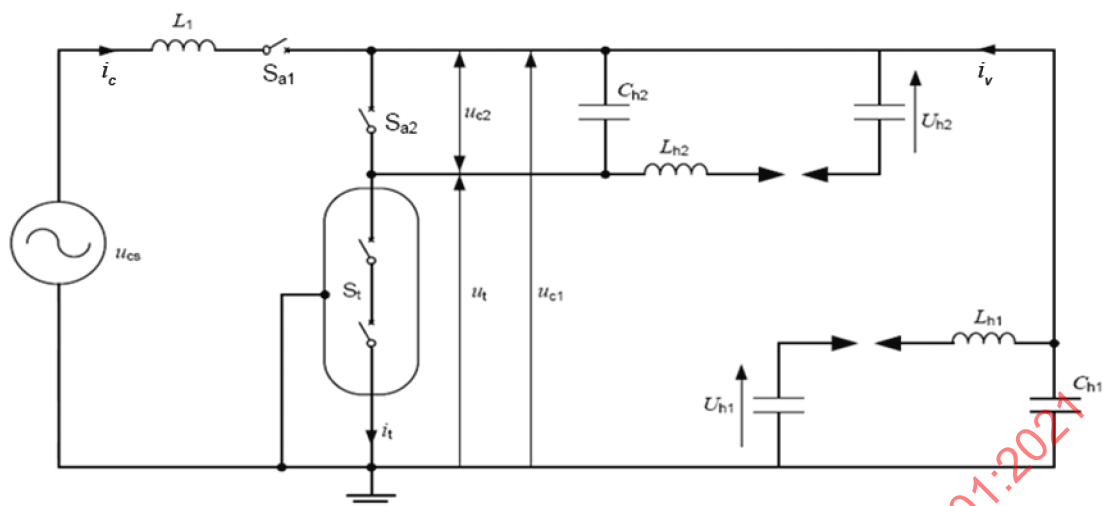


Example of voltage waveshapes in a voltage injection circuit, in accordance with Figure G.1 b), with the voltage circuit in parallel with the unit(s) as auxiliary circuit-breaker

### Key

- $u_E$  voltage applied to the insulated enclosure
- $u_t$  voltage applied to the contact gap of the unit(s) under test (resulting voltage between the terminal not earthed of the unit under test and the enclosure; a linear distribution of the voltage between the units is assumed)
- $u_{cs}$  voltage of the current circuit
- $u_A$  resulting voltage between one terminal and the enclosure
- $u_C$  peak of the TRV

**Figure G.2 – Oscillogram corresponding to Figure G.1 –  
Example of the required TRVs to be applied between the terminals of  
the unit(s) under test and between the live parts and the insulated enclosure**

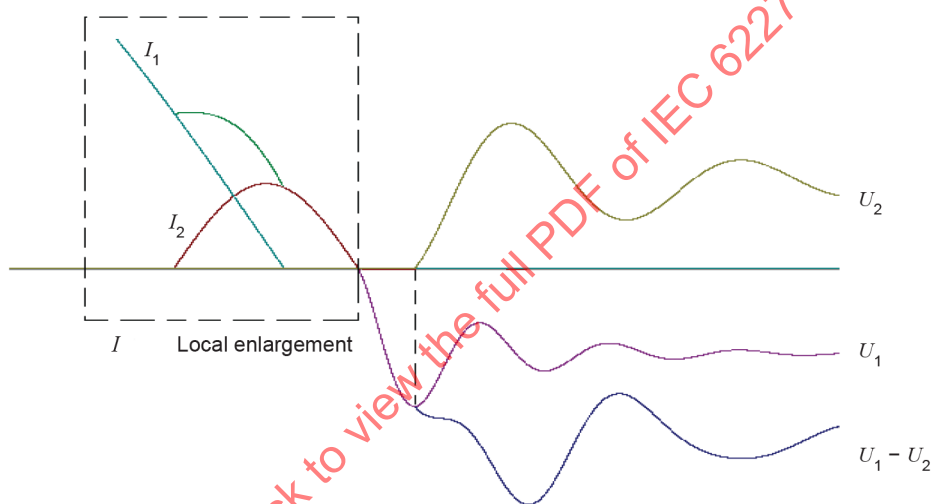
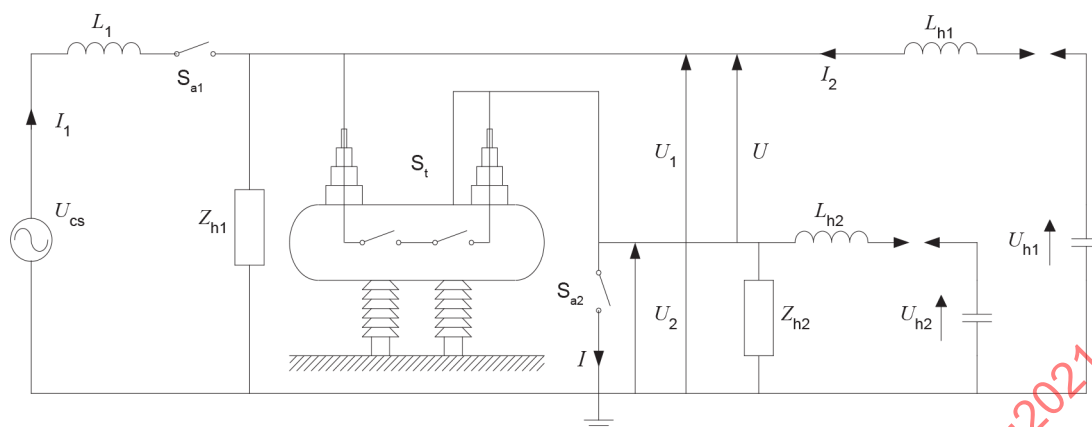


IEC

**Key**

|                  |                                 |                  |                                                                      |
|------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------|
| $S_{a1}, S_{a2}$ | auxiliary circuit-breakers      | $u_{c1}, u_{c2}$ | voltages applied to both terminals of the circuit-breaker under test |
| $S_t$            | circuit-breaker under test      | $i_v$            | Injected current                                                     |
| $u_t$            | voltage across $S_t$            | $U_{h1}, U_{h2}$ | charging voltages of voltage circuits                                |
| $S_t$            | capacitance of voltage circuits | $i_c$            | current of the current circuit                                       |
| $L_{h1}, L_{h2}$ | inductance of voltage circuits  |                  |                                                                      |
| $i_t$            | current through $S_t$           |                  |                                                                      |
| $L_1$            | inductance of current circuit   |                  |                                                                      |

**Figure G.3 – Example of test circuit using two voltage circuits for breaking tests**

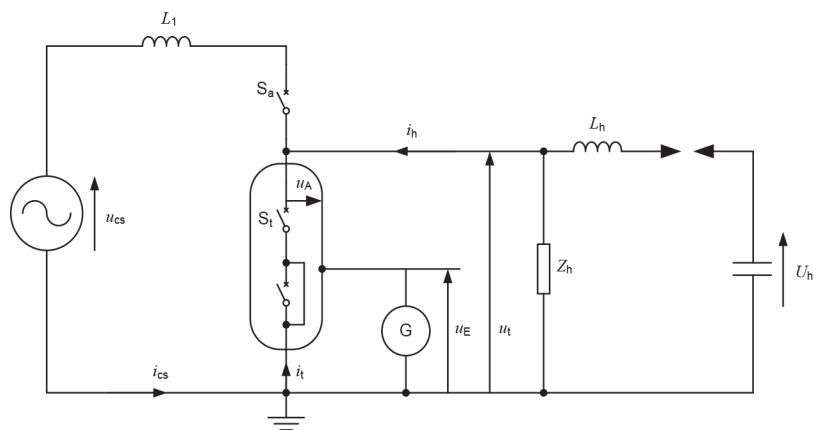


IEC

**Key**

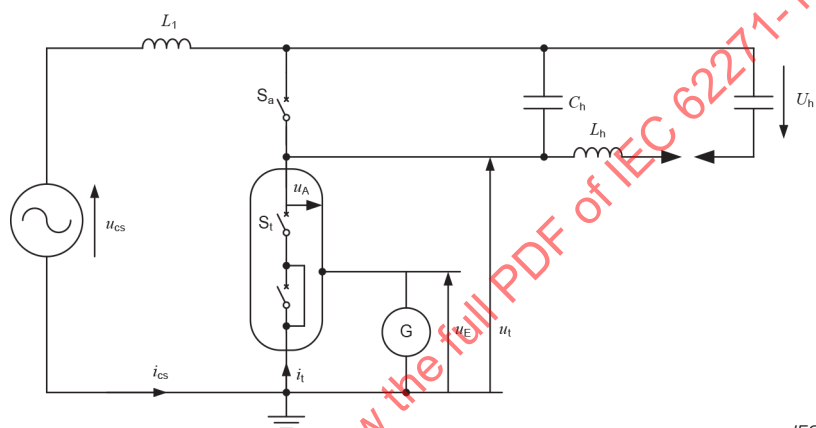
- $S_{a1}, S_{a2}$  auxiliary circuit-breakers
- $S_t$  circuit-breaker under test
- $U_t$  voltage of the current circuit
- $L_1$  inductance of current circuit

**Figure G.4 – Example of test circuit using two voltage circuits for breaking tests**



IEC

**a) – Example of an injection circuit with voltage circuit in parallel with the unit(s) under test**



IEC

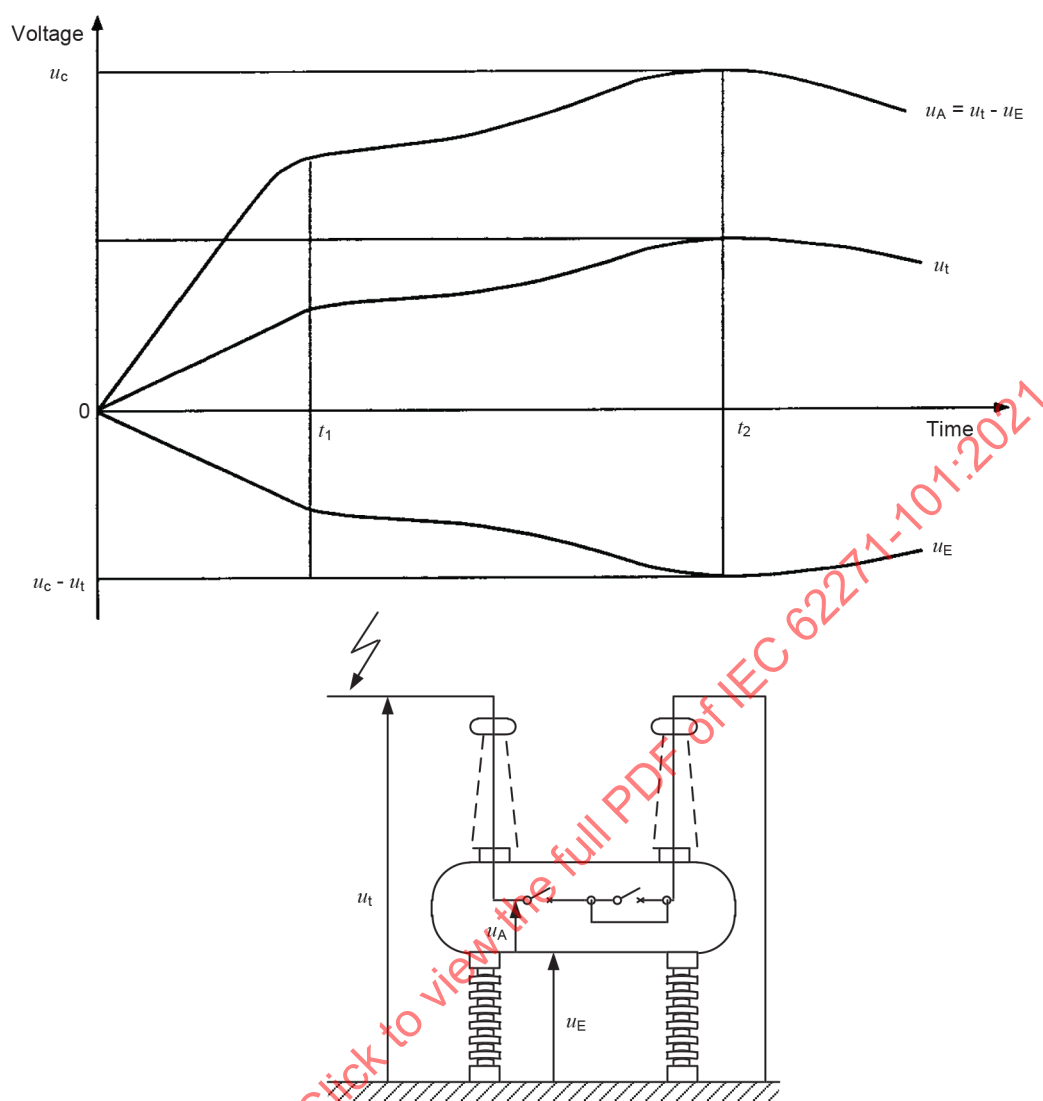
**b) – Example of an injection circuit with voltage circuit in parallel with the auxiliary circuit-breaker**

#### Key

|          |                                                                                                    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $S_a$    | auxiliary circuit-breaker                                                                          |
| $S_t$    | unit(s) of the test circuit-breaker                                                                |
| G        | supply of voltage $u_E$ applied to the enclosure                                                   |
| $u_A$    | resulting voltage between one terminal and the enclosure                                           |
| $u_{cs}$ | voltage of the current circuit                                                                     |
| $i_{cs}$ | current of the current circuit                                                                     |
| $i_h$    | injected current                                                                                   |
| $i_t$    | current through $S_t$                                                                              |
| $L_h$    | inductance of the voltage circuit                                                                  |
| $Z_h$    | equivalent surge impedance of the voltage circuit                                                  |
| $C_h$    | capacitance of the voltage circuit which, together with $L_h$ , controls the major part of the TRV |

For explanation of  $u_t$ , see Figure G.4.

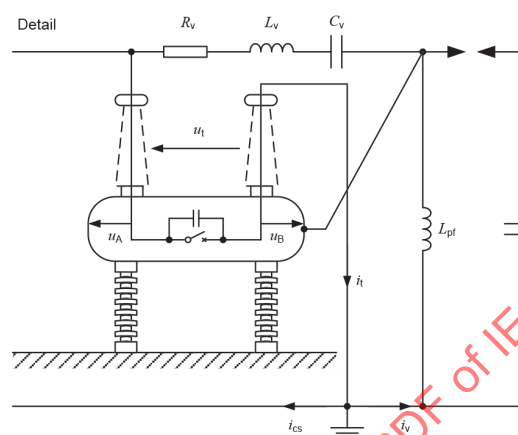
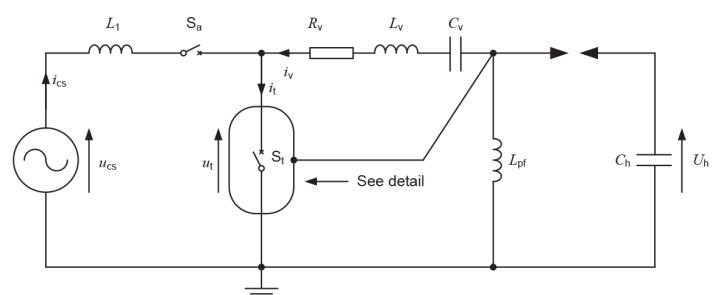
**Figure G.5 – Example of a synthetic test circuit for unit testing (if unit testing is allowed as per 7.102.4.2 of IEC 62271-100:2021)**



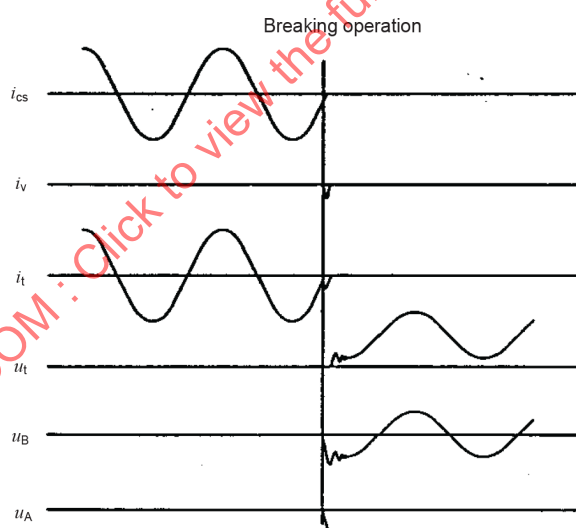
**Key**

- $u_E$  voltage applied to the insulated enclosure
- $u_t$  voltage applied to the contact gap of the unit(s) under test
- $u_A$  resulting voltage between one terminal and the enclosure
- $u_c$  peak of the TRV

**Figure G.6 – Oscillogram corresponding to Figure G.3 –  
Example of the required TRVs to be applied between the terminals  
of the unit(s) under test and between the live parts and the insulated enclosure**



a) – General layout of the test circuit

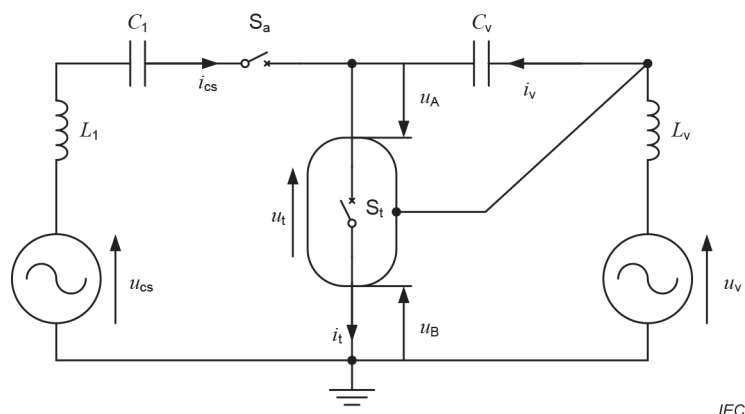


b) – Qualitative current and voltage waveshapes

**Key**

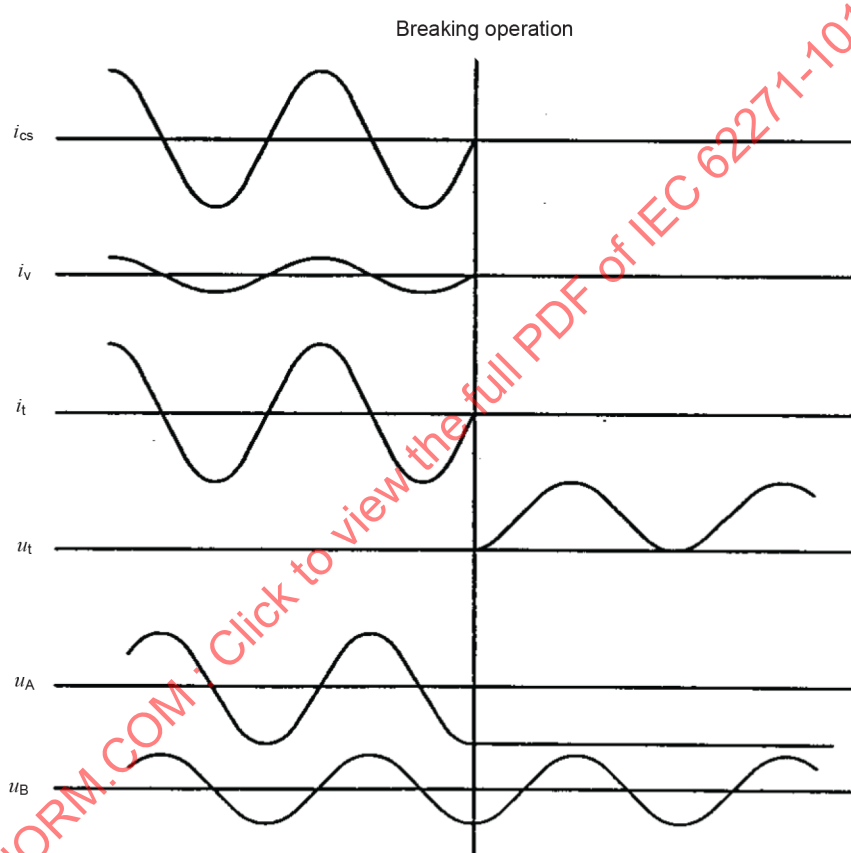
|          |                                         |       |                                                                                           |
|----------|-----------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| $S_a$    | auxiliary circuit-breakers              | $i_v$ | injected current                                                                          |
| $S_t$    | circuit-breaker under test              | $i_t$ | test current                                                                              |
| $U_h$    | charging voltage of the voltage circuit | $u_A$ | resulting voltage between the energized terminal of the circuit-breaker and the enclosure |
| $u_{cs}$ | voltage of the current circuit          | $u_B$ | resulting voltage between the earthed terminal of the circuit-breaker and the enclosure   |
| $i_{cs}$ | current of the current circuit          | $u_t$ | test voltage                                                                              |

**Figure G.7 – Example of a capacitive current injection circuit with enclosure of the circuit-breaker energized**



IEC

a) – General layout of the test circuit



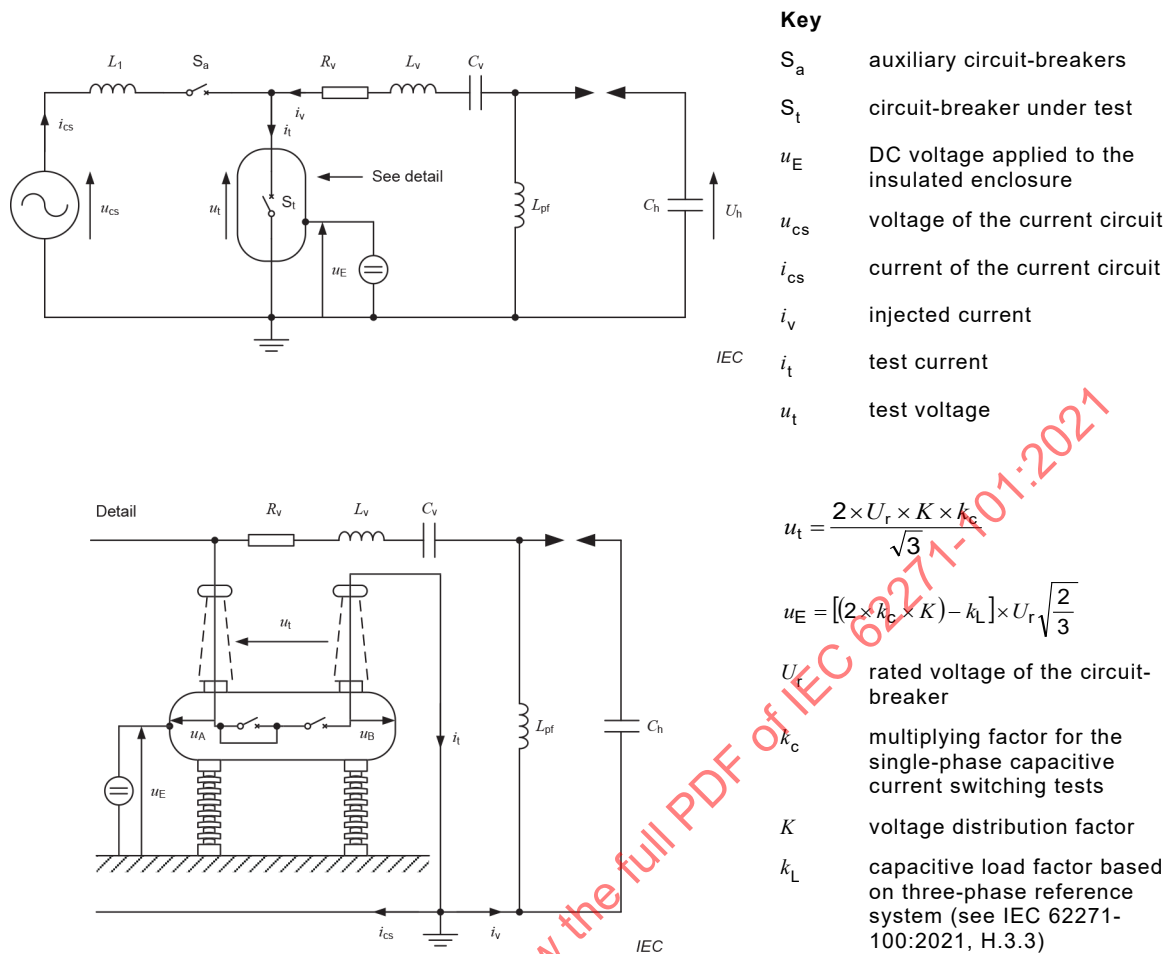
IEC

b) – Qualitative current and voltage waveshapes

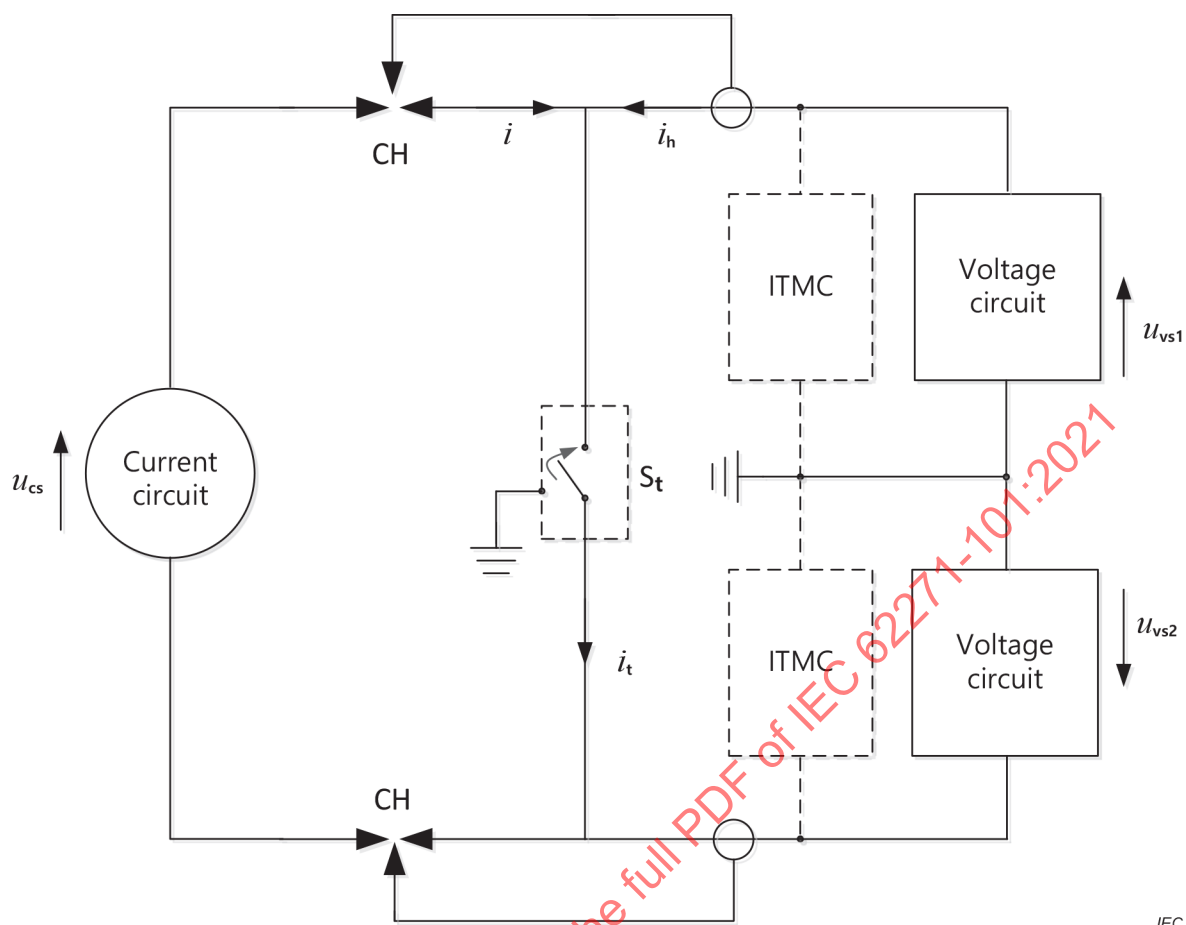
**Key**

|          |                                |       |                                                                                           |
|----------|--------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| $S_a$    | auxiliary circuit-breakers     | $i_v$ | current of the voltage circuit                                                            |
| $S_t$    | circuit-breaker under test     | $i_t$ | test current                                                                              |
| $u_v$    | voltage of the voltage circuit | $u_A$ | resulting voltage between the energized terminal of the circuit-breaker and the enclosure |
| $u_{cs}$ | voltage of the current circuit | $u_B$ | resulting voltage between the earthed terminal of the circuit-breaker and the enclosure   |
| $i_{cs}$ | current of the current circuit | $u_t$ | test voltage                                                                              |

**Figure G.8 – Example of a capacitive synthetic circuit using two power-frequency circuits and with the enclosure of the circuit-breaker energized**



**Figure G.9 – Example of a capacitive synthetic current injection circuit – Unit testing on half a pole of a circuit-breaker with two units per pole – Enclosure energized with DC voltage**



IEC

Figure G.10 – Example of a synthetic making circuit for out-of-phase tests

## Annex H (informative)

### Step-by-step method to prolong arcing

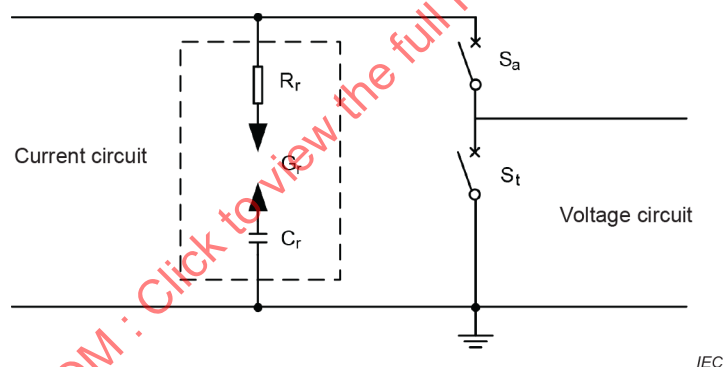
With this method, only one voltage circuit is used. The test circuit-breaker is artificially re-ignited by a special re-ignition circuit, or other means, in order to prolong arcing up to the current zero at which the voltage circuit is to be applied.

#### a) Method with a separate re-ignition circuit

A separate re-ignition circuit provides a rapidly rising pulse of current, of opposite polarity to that of the power-frequency current, approximately 10  $\mu$ s before current zero. The current through the circuit-breaker is thus rapidly reversed and conduction in the arc gap is maintained for a further loop of power-frequency current. As an example, a re-ignition circuit is indicated in Figure H.1 and Figure H.2. Several such circuits can be used for prolonging the arcing through several loops of current. The re-ignition circuit can in principle be applied to re-ignite both test and auxiliary circuit-breaker. However, the need to re-ignite both circuit-breakers is usually avoided by suitably delaying the separation of the auxiliary circuit-breaker contacts.

#### b) Method with increased power-frequency circuit severity

In some cases, the arcing of the test circuit-breaker can be prolonged by increasing the rate-of-rise of the transient recovery voltage in the power-frequency current circuit. Whether this is effective or not depends upon the characteristics of the power-frequency current circuit and of the circuit-breaker under test.

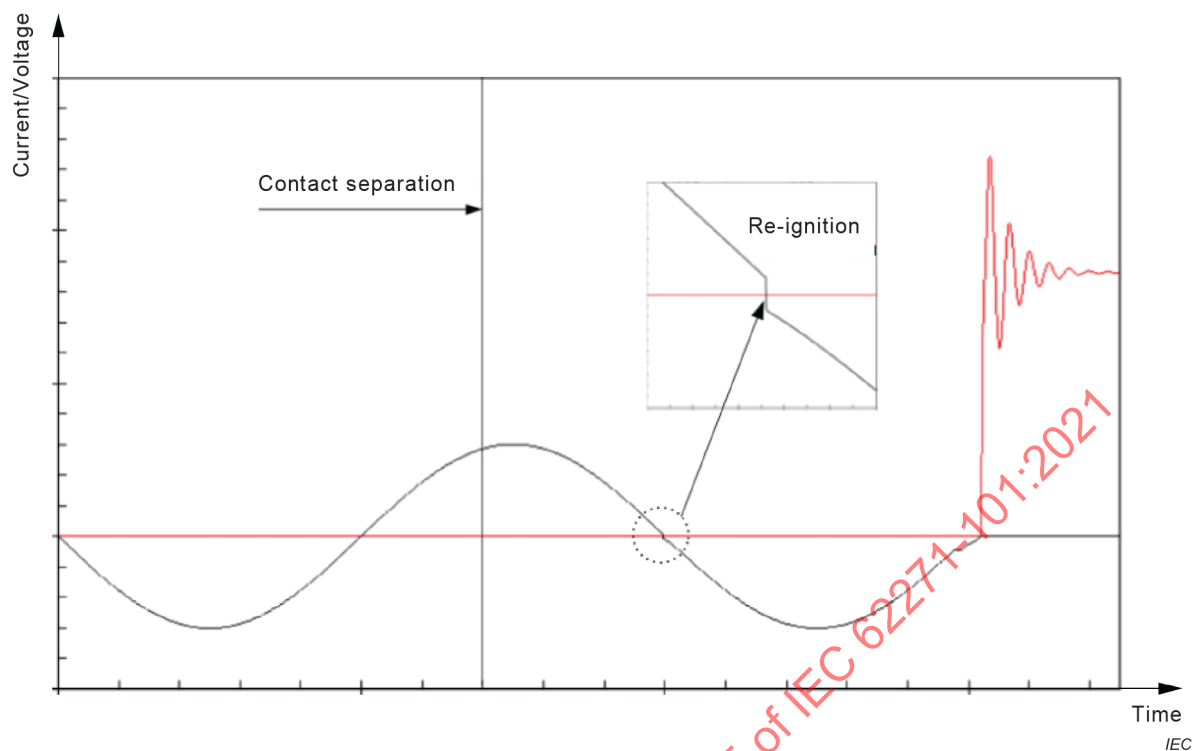


#### Key

$S_t$  test circuit-breaker  
 $S_a$  auxiliary circuit-breaker  
 $R_r$  resistor for re-ignition circuit

$C_r$  capacitor for re-ignition circuit  
 $G_r$  spark gap for closing re-ignition circuit

**Figure H.1 – Example of a re-ignition circuit diagram for prolonging arc-duration**



**Figure H.2 – Example of waveforms obtained during a symmetrical test using the circuit in Figure H.1**

## **Annex I** (informative)

### **Synthetic methods for capacitive current tests**

#### **I.1 General**

Synthetic capacitive current switching tests are generally performed using single-phase test circuits. There are principally two types of circuits.

##### **a) Combined current and voltage circuits**

The test circuit consists of a current circuit and a voltage circuit. Both circuits have a capacitive nature, although an inductive or resistive current circuit can be used as an alternative, provided that the phase angle between the two circuits is changed accordingly.

The two circuits can be power-frequency fed transformers or charged capacitors, or a combination of both. The application of this type of circuit implies the use of an auxiliary circuit-breaker to isolate the test circuit-breaker from the current circuit.

The time between separation of voltage circuit and current circuit by the auxiliary circuit-breaker (current zero in the current circuit) and the current zero in the voltage circuit should not be longer than 500  $\mu$ s.

##### **b) LC oscillating circuits**

The test circuit consists of an LC oscillating circuit that provides both the current and voltage from a single source. The application of this type of circuit does not require the use of an auxiliary circuit-breaker.

For applicability of the mentioned methods in case of metal-enclosed circuit-breakers, see Annex G of this document and Annex H of IEC 62271-100:2021.

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

Many test circuits are possible with different features. Some examples are given in Figure I.1 to Figure I.7.

An impedance can be added for protection of the test circuit and/or control of the inrush current, provided that the prospective recovery voltage is in accordance with 7.111.10 of IEC 62271-100:2021.

#### **I.2 Recovery voltage**

In principle, the recovery voltage consists of an AC voltage applied to one terminal of the test circuit-breaker, while a slowly decaying DC voltage stresses the other terminal. In some test circuits, both voltages are superimposed at one terminal of the test circuit-breaker, the other terminal being earthed. This condition is more severe with respect to both the insulation to earth and across contacts. The combined current and voltage circuits of Figure I.4 and Figure I.5 can be used to apply the correct voltage stresses to each terminal of the circuit-breaker. For synthetic method, the decay of the AC voltage should be kept within limits given in 7.111.7 and Figure 12.

#### **I.3 Combined current and voltage circuits**

When tests are performed using the circuits described in I.1 a), the connection of the current and voltage circuits to the auxiliary and test circuit-breakers can be in parallel mode, subtracting the voltages on the auxiliary circuit-breaker, or in series mode, and adding the voltages on the test circuit-breaker.

Depending on whether the voltage circuit is connected permanently or switched in before or after power-frequency current zero, a distinction can be made between power-frequency current superposition, current injection and voltage injection circuits.

#### I.4 Making tests

An example of a test circuit is given in Figure I.7.

The voltage circuit supplies the test voltage during closing of the contacts until dielectric breakdown occurs causing the initial transient making current to flow.

#### I.5 Current chopping

Current chopping phenomena, caused by interaction between a circuit-breaker and its circuit (in service or during laboratory tests), generally leads to a reduction of the load side voltage and thus also of the dielectric stress applied to the circuit-breaker.

In service or during laboratory tests in direct test circuits, chopping of small capacitive currents can take place. In synthetic test circuits, the probability of these events occurring is increased for the following reasons:

- generally speaking the characteristic parameters of the main and stray components of some synthetic test circuits are different and can influence the chopping behaviour of the circuit-breaker;
- the effect of additional (auxiliary) circuit-breakers in series with the test circuit-breaker in combined current and voltage circuits;
- the increased ratio of arc voltage to power-frequency voltage.

Therefore, when performing synthetic tests using test circuits described in I.1a), it can be difficult to determine whether or not current chopping is a significant feature of the test circuit-breaker. To reduce current chopping, the following measures can be taken:

- modify the capacitances seen from the circuit-breaker terminals;
- use an auxiliary circuit-breaker with a short minimum arc duration and low arc voltage in combined current and voltage circuits.

Some synthetic test circuits are less-sensitive to current chopping, and therefore, can provide a recovery voltage for long arcing times where it would be reduced in a direct circuit.

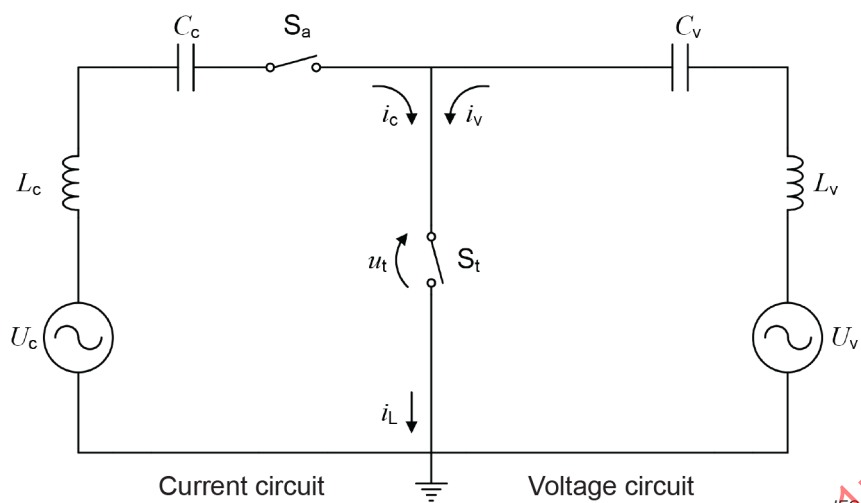
#### I.6 Examples test circuits

Figure I.1 to Figure I.7 show some examples of synthetic test circuits for capacitive current switching. The following list of symbol explanations relates to these figures, as appropriate, and are listed here for the sake of brevity and to avoid repetition.

The equations presented for the given circuits are meant for guidance only. They do not take into account losses or other phenomena in the test circuits.

|               |                                         |
|---------------|-----------------------------------------|
| $C_c$         | = capacitance of the current circuit    |
| $C_{hB}, C_B$ | = capacitances of the voltage circuit B |
| $C_v$         | = capacitance of the voltage circuit    |
| $C_h, L_{pf}$ | = power-frequency oscillation circuit   |
| $f_{inrush}$  | = frequency of the inrush current       |

|                          |                                                                     |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| $f_L$                    | = frequency of the current $i_L$                                    |
| $f_r$                    | = rated power frequency                                             |
| $f_{RV}$                 | = frequency of the recovery voltage                                 |
| $G$                      | = gap                                                               |
| $i_c$                    | = current of the current circuit                                    |
| $i_{\max \text{ peak}}$  | = maximum peak of the inrush current                                |
| $i_L$                    | = load current (current through test circuit-breaker $S_t$ )        |
| $i_v$                    | = current of the voltage circuit                                    |
| $L_c$                    | = inductance of the current circuit                                 |
| $L_v$                    | = inductance of the voltage circuit                                 |
| $m$                      | = ratio of current $i_L$ to current $i_v$                           |
| $n$                      | = ratio of voltage $u_t$ to voltage $U_c$                           |
| $R_v$                    | = resistance of the voltage circuit                                 |
| $R_B$                    | = resistance of circuit B                                           |
| $R_p$                    | = earthing resistor                                                 |
| $S_a$                    | = auxiliary circuit-breaker                                         |
| $S_{a1}, S_{a2}, S_{a3}$ | = auxiliary circuit-breakers                                        |
| $S_t$                    | = test circuit-breaker                                              |
| $\hat{t}$                | = time to the peak of injected current                              |
| $U_c$                    | = voltage of the current circuit                                    |
| $U_h$                    | = charging voltage of $C_h$                                         |
| $U_{hB}$                 | = charging voltage of $C_{hB}$                                      |
| $U_v$                    | = voltage of the voltage circuit                                    |
| $u_A, u_B$               | = voltage to earth at points A and B, respectively                  |
| $u_t$                    | = voltage across the test circuit-breaker $S_t$                     |
| $U_t$                    | = test voltage according to IEC 62271-100                           |
| $\omega$                 | = pulsation of the test circuit, $\omega = 2 \times \pi \times f_r$ |



$$U_c = u_t/n$$

$$i_c = i_L(1 - 1/m)$$

$$\omega L_c \ll 1/\omega C_c$$

$$C_c = n(1 - 1/m)C_L$$

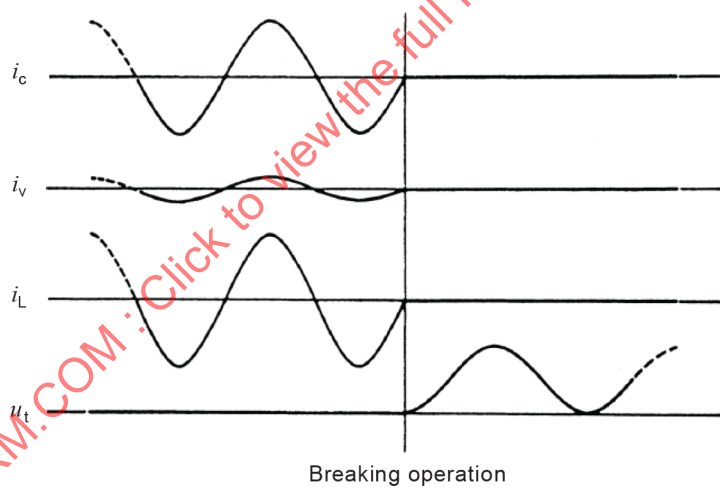
$C_L$  = equivalent load capacitance

$$U_v = u_t$$

$$i_v = i_L/m$$

$$\omega L_v \ll 1/\omega C_v$$

$$C_v = C_L/m$$



IEC

**Figure I.1 – Power-frequency circuits in parallel**

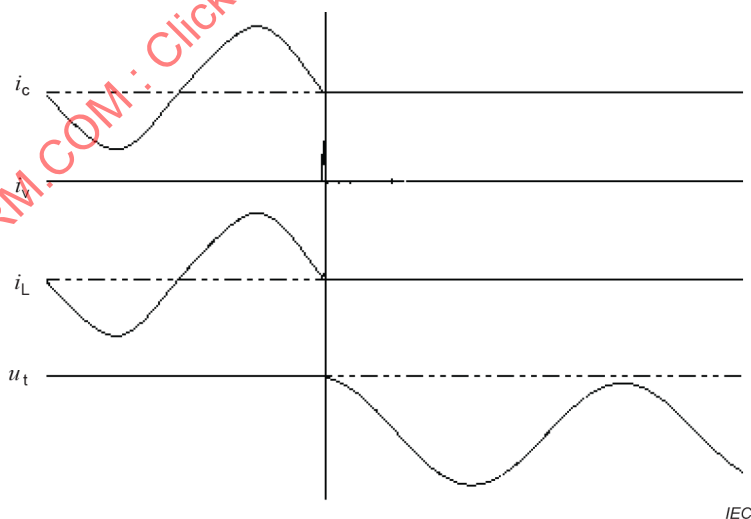
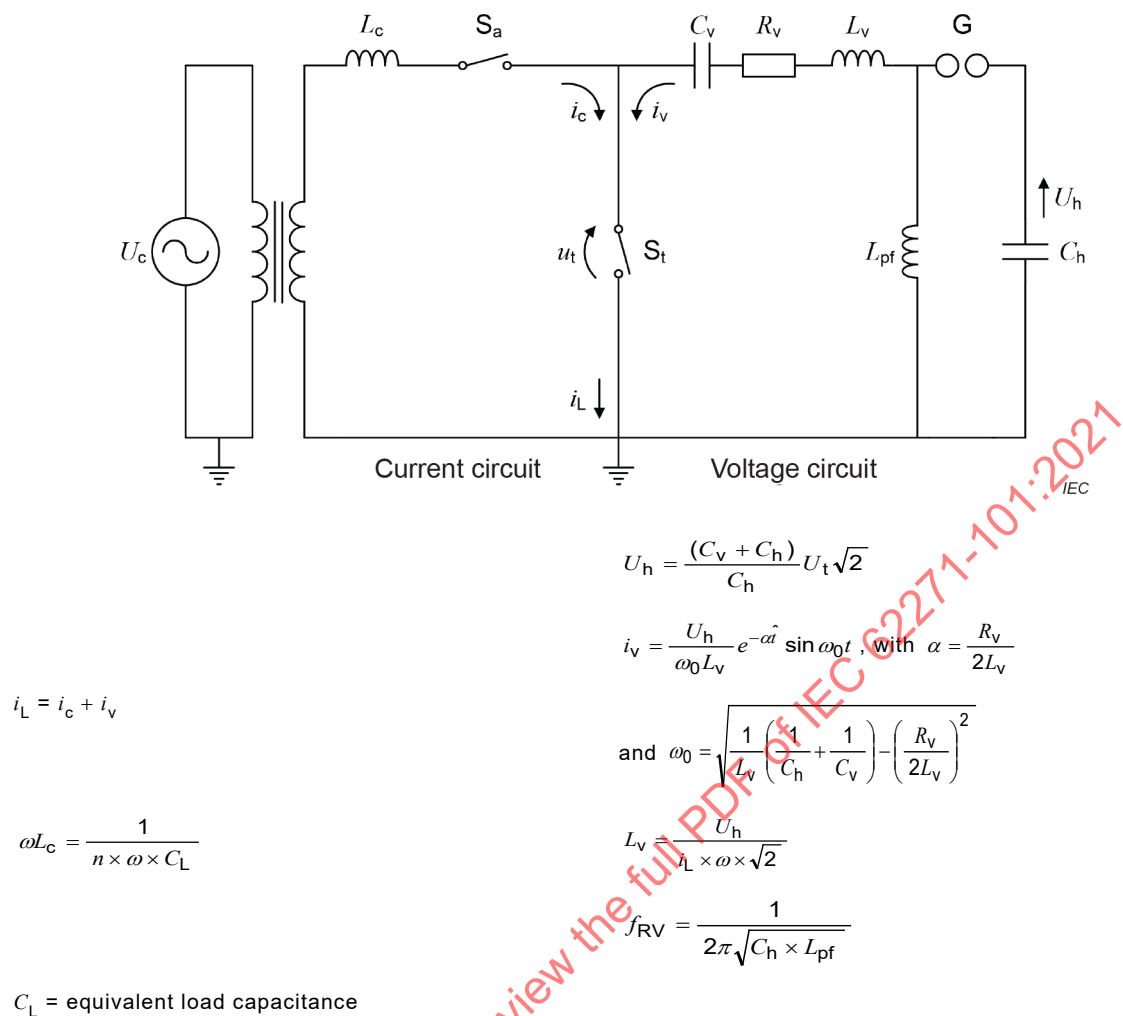
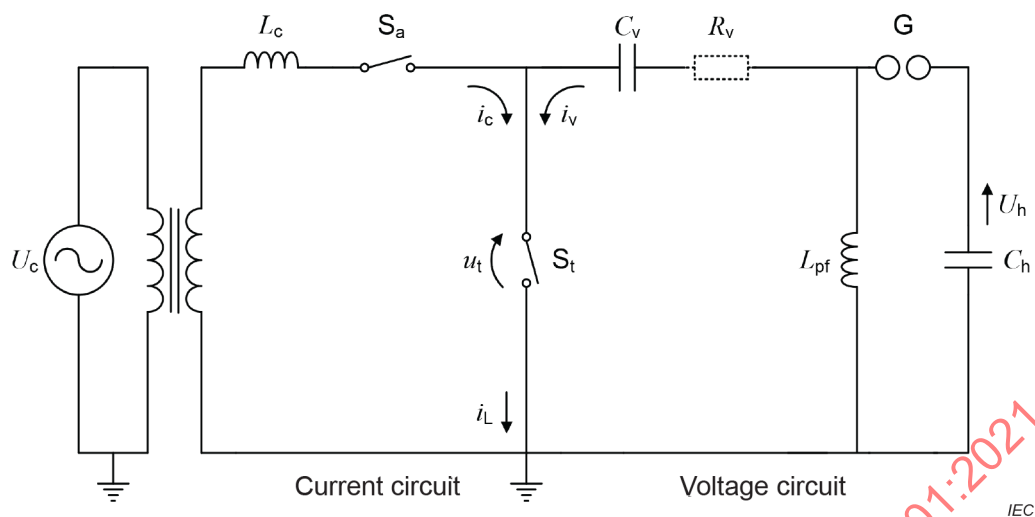


Figure I.2 – Current injection circuit



$$i_c = i_L - i_v$$

$$U_h = U_t \sqrt{2}$$

$$i_c = \frac{U_c}{\omega_t L_c}, \text{ with } \omega_t = 2\pi f_t$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi \sqrt{(C_h + C_v) \times L_{pf}}}$$

$$i_v = 2\pi f_L \times C_v \times U_h$$

$$f_{RV} = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_h \times L_{pf}}}$$

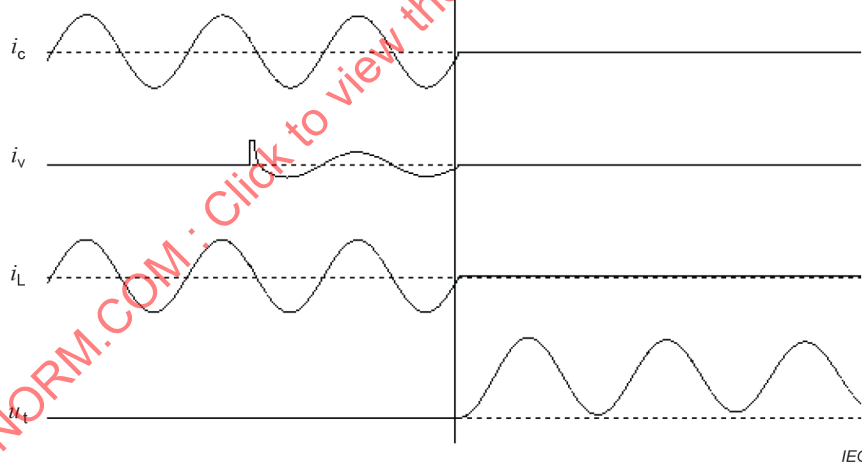
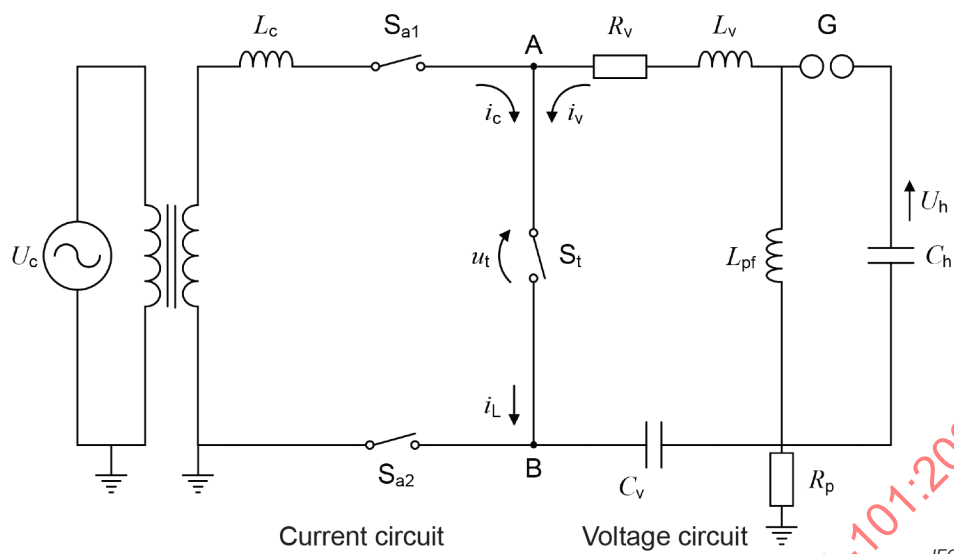


Figure I.3 – Power-frequency current injection circuit



$$U_c = \frac{U_t}{n}$$

$$U_h = \frac{(C_v + C_h)}{C_h} U_t \sqrt{2}$$

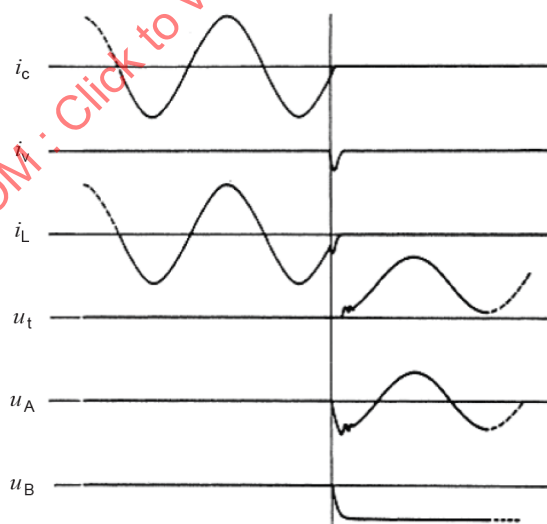
$$i_v = \frac{U_h}{\omega_0 L_v} e^{-\alpha t} \sin \omega_0 t, \text{ with } \alpha = \frac{R_v}{2L_v}$$

$$i_L = i_c + i_v$$

$$\text{and } \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L_v} \left( \frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_v} \right) - \left( \frac{R_v}{2L_v} \right)^2}$$

$$\omega L_c = \frac{1}{n \times \omega \times C_L}$$

$$L_v = \frac{U_h}{i_L \times \omega \times \sqrt{2}}$$

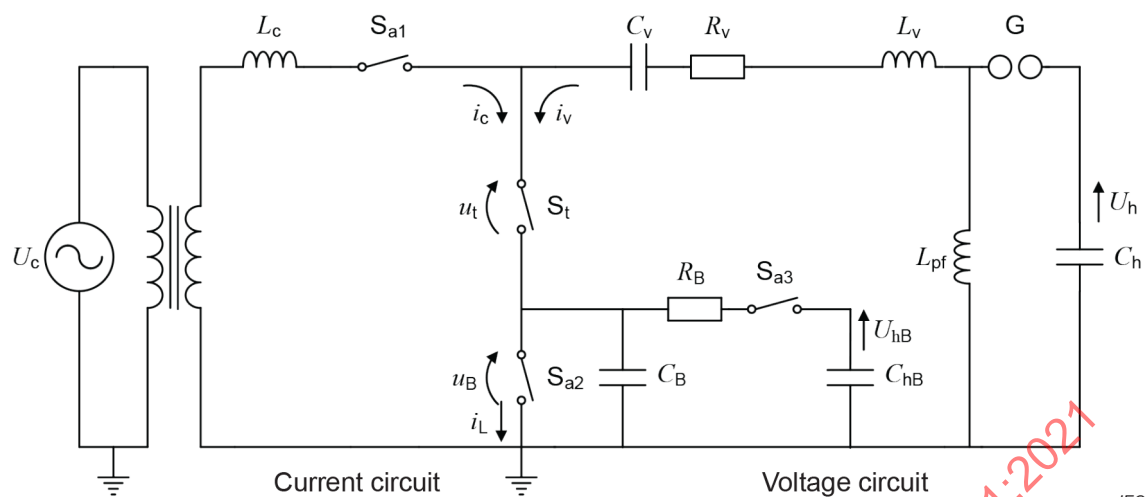


Breaking operation

IEC

NOTE The circuit can also be used with the power-frequency current injection method.

**Figure I.4 – Current injection circuit, recovery voltage applied to both terminals of the circuit-breaker**



$$U_c = \frac{U_t}{n}$$

$$i_L = i_C + i_V$$

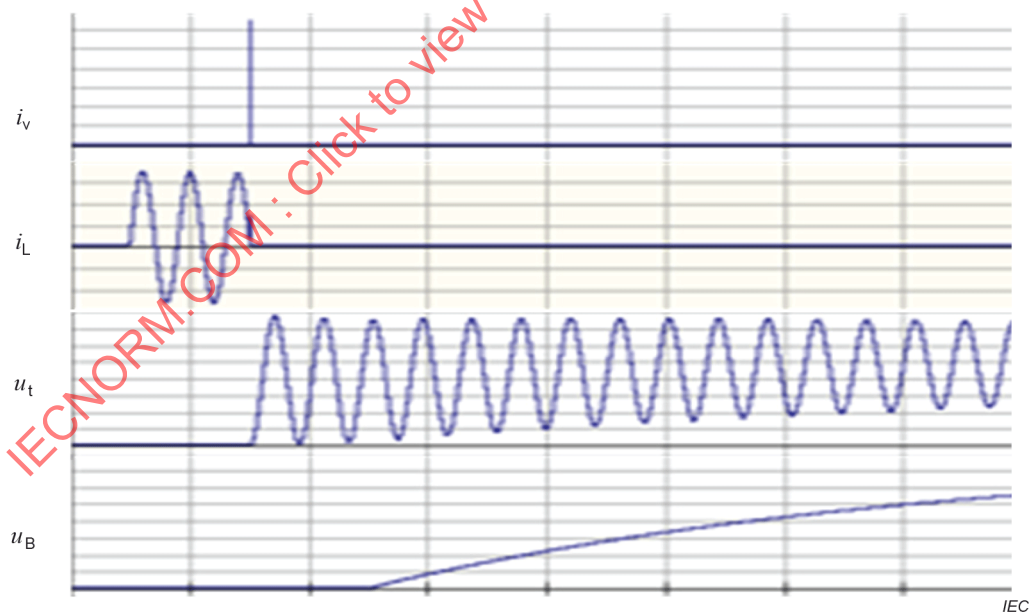
$$\omega L_c = \frac{1}{n \times \omega \times C_1}$$

$$U_h = \frac{(C_v + C_h)}{C_h} U_t \sqrt{2}$$

$$i_v = \frac{U_h}{\omega_0 L_v} e^{-\alpha t} \sin \omega_0 t, \text{ with } \alpha = \frac{R_v}{2L_v}$$

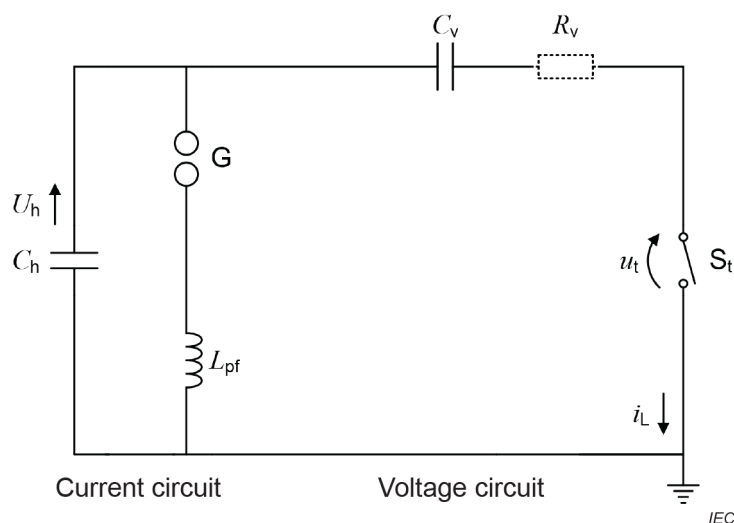
$$\text{and } \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{4L_v} \left( \frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_v} \right) - \left( \frac{R_v}{2L_v} \right)^2}$$

$$L_v = \frac{U_h}{i_l \times \omega \times \sqrt{2}}$$



NOTE The circuit can also be used with the power-frequency current injection method.

**Figure I.5 – Current injection circuit with decay compensation**



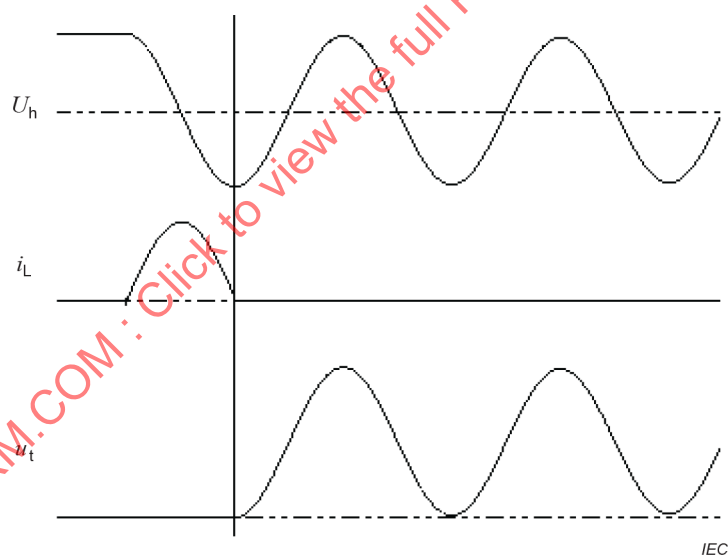
$$U_h = U_t \sqrt{2}$$

$$f_{RV} = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_h \times L_{pf}}}$$

$C_v$  = equivalent load capacitance

$$i_L = 2\pi f_L \times C_v \times U_h$$

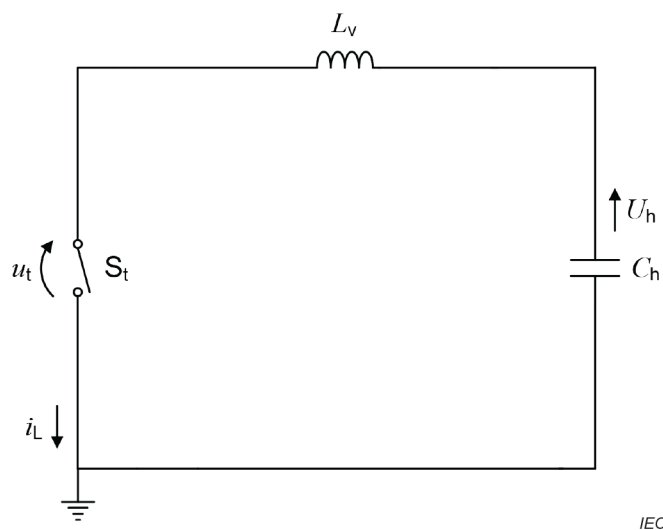
$$f_L = \frac{1}{2\pi \sqrt{(C_h + C_v) \times L_{pf}}}$$



$C_h$  and  $C_v$  are pre-charged at the voltage  $U_h$ .

The load side capacitance  $C_v$  can also be inserted between the test circuit-breaker and earth. Care should be taken to the correct voltage distribution in case of metal enclosed circuit-breakers.

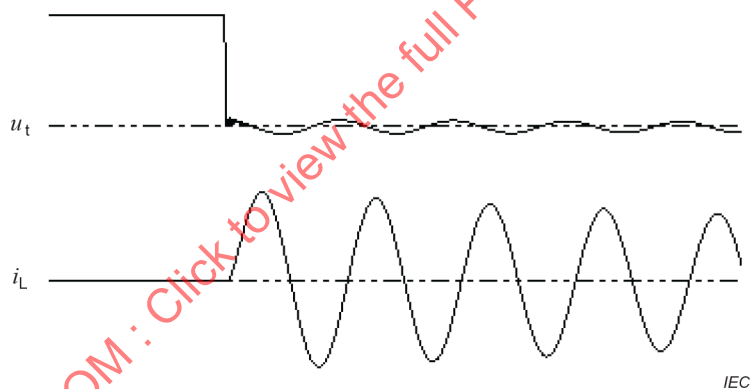
**Figure I.6 – LC oscillating circuit**



$$U_h = U_t \times \sqrt{2}$$

$$i_{\text{max peak}} = U_h \times C_h \times 2\pi f_{\text{inrush}}$$

$$f_{\text{inrush}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_h \times L_v}}$$



NOTE This circuit does not reproduce possible interactions for back-to-back inrush making current test when the circuit-breaker can clear during the pre-arc interval.

**Figure I.7 – Inrush making current test circuit**

## **Annex J** (normative)

### **Synthetic test methods for circuit-breakers with opening resistors**

#### **J.1 General**

Due to limited available energy in synthetic circuits, synthetic tests shall be done in two parts:

- tests on the making and breaking unit;
- tests on the resistor switch.

Where tests are performed without opening resistor the effect of the resistor is taken into account by applying modified current and voltage parameters. This is shown by calculation or simulation of interrupting conditions.

The synthetic test circuit shall have a prospective transient recovery voltage as specified in Annex I of IEC 62271-100:2021, and a recovery voltage as specified in 4.1.4.

The methods described here are appropriate to demonstrate the performance of the making and breaking unit and of the resistor switch. For the testing of the resistor stack, see Clause I.2 of IEC 62271-100:2021.

#### **J.2 Conditions**

##### **J.2.1 General**

The requirements which relate to the basic synthetic test circuit (see 4.1) shall be met taking into account the influence of the resistor as described in Annex I of IEC 62271-100:2021. Additional requirements during the high-voltage interval are given below.

##### **J.2.2 Transient recovery voltage interval**

The correct transient recovery voltage shall appear across the circuit-breaker, taking into account the influence of the opening resistor incorporated in the circuit-breaker and the arc voltage. For reference, see Annex I of IEC 62271-100:2021.

##### **J.2.3 Power-frequency recovery voltage interval**

Power-frequency recovery voltage shall be the same as the value specified in IEC 62271-100.

It is acceptable to use a power-frequency recovery voltage of the correct amplitude which has a phase shift different from that which would be obtained in a network. The direction of this phase shift should be such that the recovery voltage in the synthetic test lags behind that of the network. The result is to extend the first loop of the recovery voltage, which is acceptable provided that the phase shift does not exceed 20°.

#### **J.3 Multiple step test procedure**

##### **J.3.1 General**

The multiple step test procedure consists of three test sequences described in J.3.2, J.3.3 and J.3.4 below. For application of this test procedure, refer to Clause J.4 and 7.102.4.3.

Due to limited available energy using synthetic circuits, tests on the making and breaking unit can be performed in two separate test sequences:

- test to verify the re-ignition behaviour of the making and breaking unit during short-line-fault tests and T100s and T100a when tested with ITRV where current injection method is mandatory;
- test to verify re-ignition behaviour of the making and breaking unit during short-circuit test duties with any kind of synthetic test method.

It is essential that the operation and performance of the resistor switch is not affected by the operation of the making and breaking unit for these separate test procedures to be allowed, for example influence of hot gases, modified speed of the contact travel.

### **J.3.2 Test to verify the re-ignition behaviour of the making and breaking unit**

This test procedure is applicable only for short-line-fault tests and T100s and T100a when tested with ITRV and if full TRV cannot be provided by a current injection circuit.

The objective of these tests is to establish the minimum arcing time and to demonstrate the breaking capability of the making and breaking unit during the interaction for the whole arcing window.

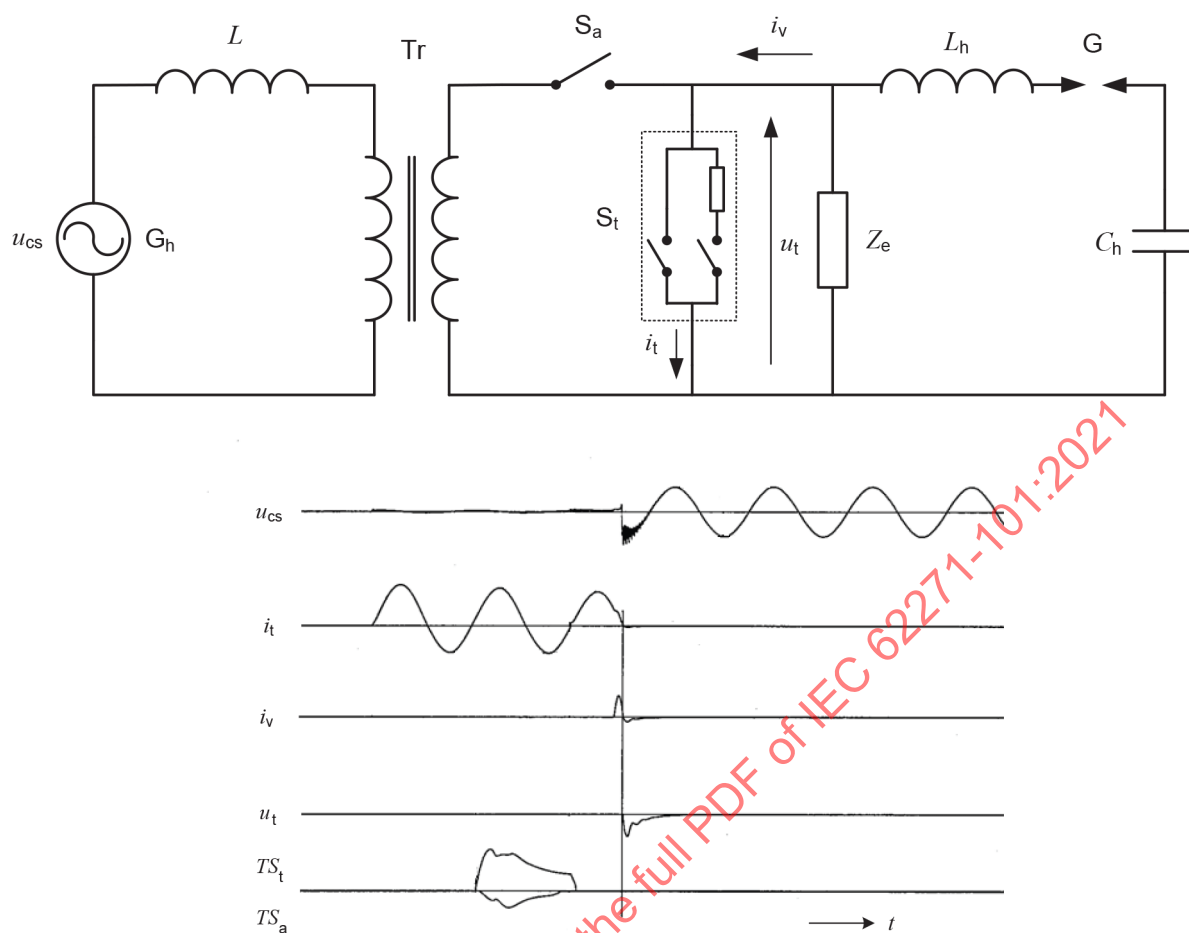
Test should be performed preferably with opening resistor mounted and connected in its normal position in the circuit-breaker.

Alternatively, the tests can be also performed without opening resistor provided that interruption by the making and breaking unit is not affected by or affecting the resistor switch.

The current injection method is mandatory for this test.

If, due to limitations, it is not possible to perform the test with the rated TRV, then the test can be performed at reduced voltage but not less than 30 % of the rated TRV, or for short-line fault test with the application of 7.109.5 of IEC 62271-100:2021. In this case, the test circuit shall be adjusted to take into account the effect of the modification of the prospective TRV ( $du/dt$  and time delay) by the parallel opening resistor. This is done by calculation or digital simulation.

An example of test circuit is given in Figure J.1.



IEC

**Key**

|          |                                     |        |                               |
|----------|-------------------------------------|--------|-------------------------------|
| $u_{cs}$ | voltage of current circuit          | $u_t$  | applied voltage               |
| $i_t$    | current in the test circuit-breaker | $i_v$  | current in voltage circuit    |
| $G_h$    | short-circuit generator             | Tr     | transformer                   |
| $C_h$    | main capacitor bank                 | $Z_e$  | TRV components                |
| G        | trigger gap                         | $L_h$  | inductance of voltage circuit |
| L        | inductance of current circuit       | $S_t$  | test circuit-breaker          |
| $S_a$    | auxiliary circuit-breaker           |        |                               |
| $TS_t$   | tripping signal of $S_t$            | $TS_a$ | tripping signal of $S_a$      |

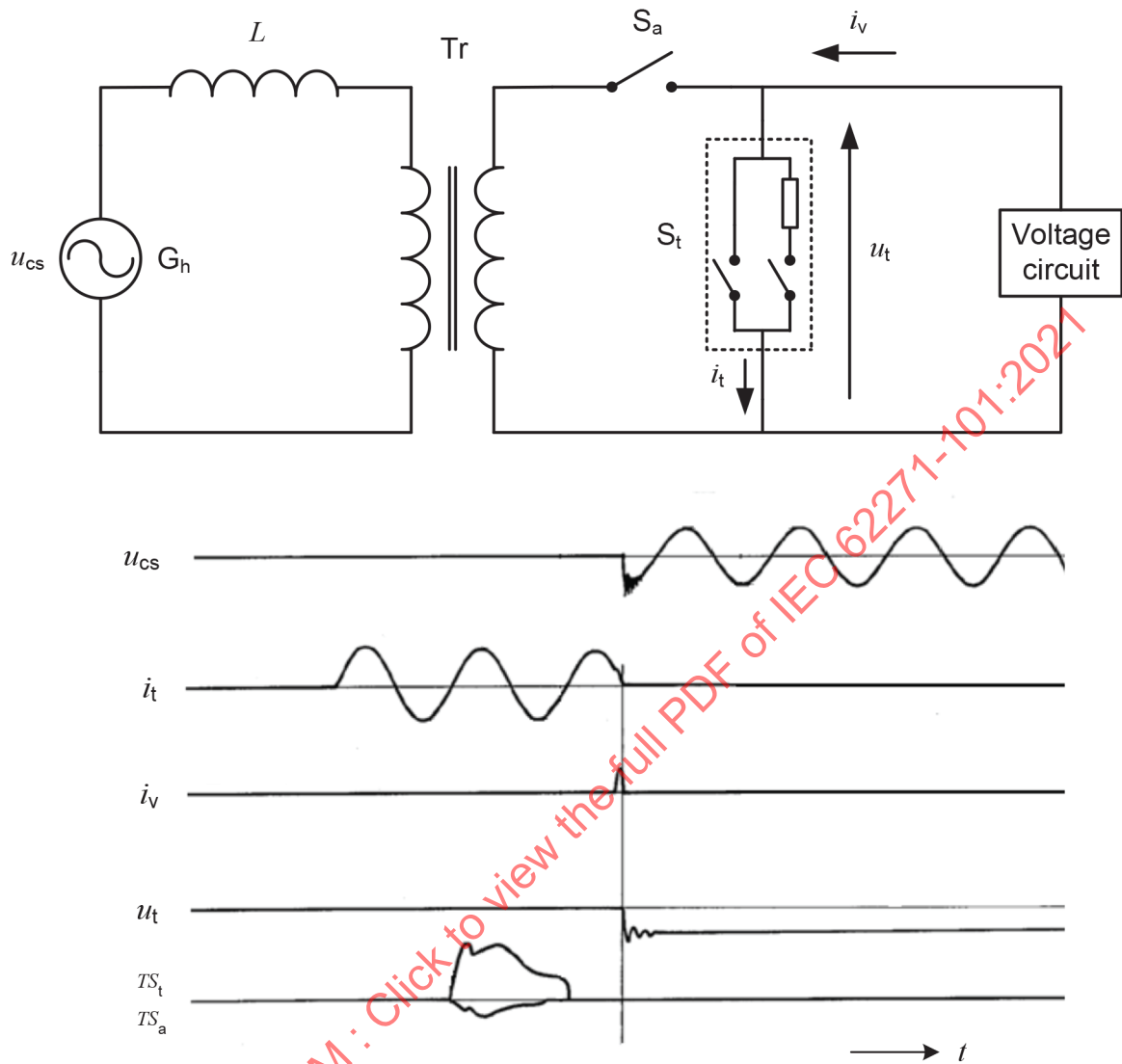
**Figure J.1 – Test circuit to verify re-ignition behaviour of the making and breaking unit using current injection method**

### J.3.3 Test to verify the re-ignition behaviour of the making and breaking unit during short circuit test duties with any test method

An example of a test circuit is given in Figure J.2. The opening resistor will in most cases be removed and be replaced by suitable mock-up made of insulating material.

The circuit can be any kind of synthetic circuit described in 4.2. When the current injection method is used, the test also covers the thermal re-ignition behaviour as described in J.3.2.

NOTE Problems can arise when carrying out this test with several units in series. The removal of the parallel opening resistors can affect the voltage grading between the units. This can overstress some units.



IEC

#### Key

|          |                                     |        |                            |
|----------|-------------------------------------|--------|----------------------------|
| $u_{cs}$ | voltage of current circuit          | $u_t$  | applied voltage            |
| $i_t$    | current in the test circuit-breaker | $i_v$  | current in voltage circuit |
| $G_h$    | short-circuit generator             | $Tr$   | transformer                |
| $L$      | inductance of current circuit       | $S_t$  | test circuit-breaker       |
| $S_a$    | auxiliary circuit-breaker           | $TS_t$ | Tripping signal of $S_t$   |
| $TS_a$   | Tripping signal of $S_a$            | $TS_a$ | Tripping signal of $S_a$   |

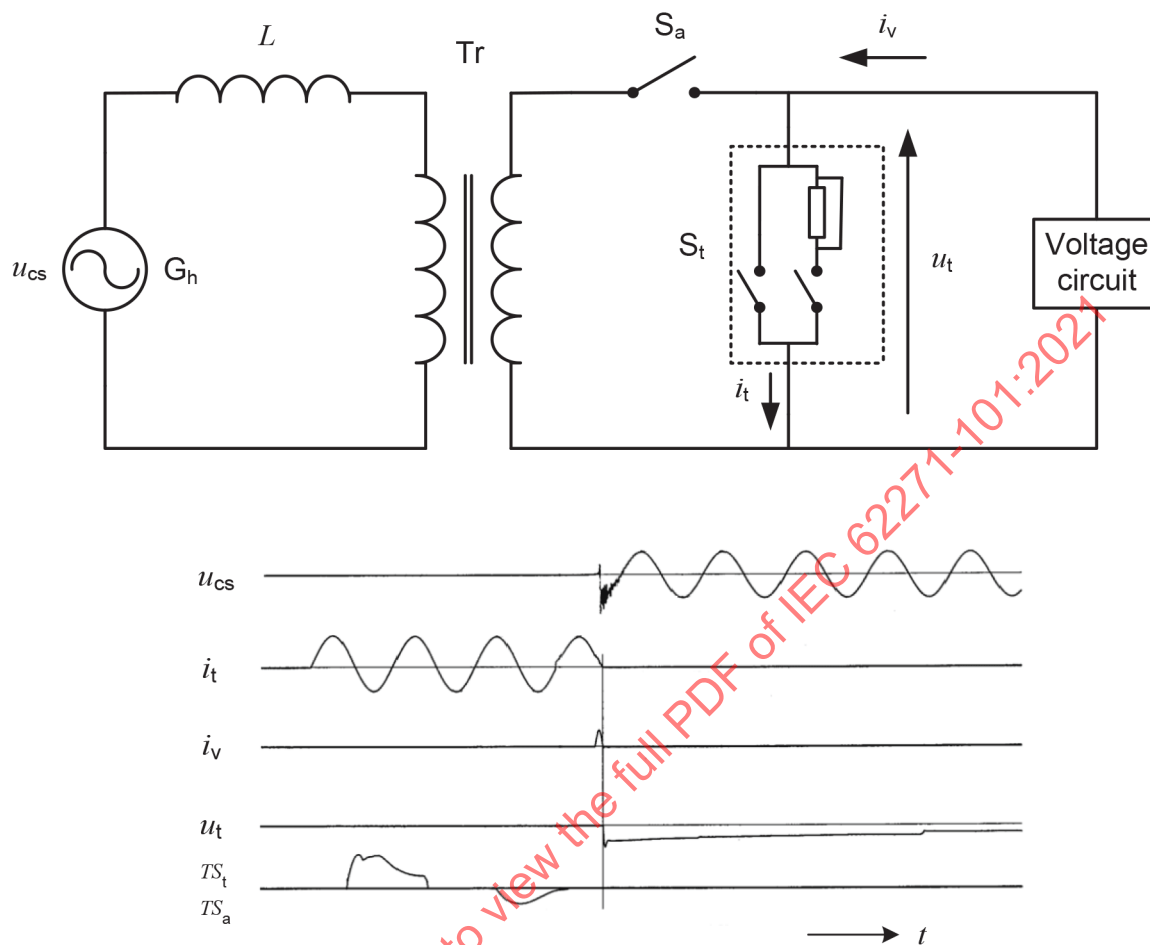
**Figure J.2 – Test circuit to verify re-ignition behaviour of the making and breaking unit**

#### J.3.4 Tests on resistor switch(s)

An example of a test circuit is given in Figure J.3. The resistors are short-circuited or replaced by a suitable conductor.

Current and TRV are given in I.2.3 of IEC 62271-100:2021.

The test can be performed with a direct circuit or with any kind of synthetic circuit described in 4.2.



IEC

### Key

|          |                                     |        |                            |
|----------|-------------------------------------|--------|----------------------------|
| $u_{cs}$ | voltage of current circuit          | $u_t$  | applied voltage            |
| $i_t$    | current in the test circuit-breaker | $i_v$  | current in voltage circuit |
| $G_h$    | short-circuit generator             | Tr     | transformer                |
| $L$      | inductance of current circuit       | $S_t$  | test circuit-breaker       |
| $TS_t$   | Tripping signal of $S_t$            | $S_a$  | auxiliary circuit-breaker  |
|          |                                     | $TS_a$ | Tripping signal of $S_a$   |

**Figure J.3 – Test circuit on the resistor switch**

## J.4 Test requirements

### J.4.1 General

J.4.2 to J.4.4 describe the application of Annex I of IEC 62271-100:2021 for synthetic testing.

NOTE Most of the tests are conducted using multiple step tests procedure in single-phase tests.

## J.4.2 Testing of the making and breaking unit

### J.4.2.1 Short-circuit making and breaking tests

Terminal fault and out-of-phase switching tests shall be performed in accordance with I.2.2.1 of IEC 62271-100:2021 using the test procedure described in J.3.2 and J.3.3.

If the test procedure described in J.3.2 is followed for T100s or T100a, it is not necessary to repeat it for T10, T30, T60 and OP2.

If the test procedure described in J.3.2 is followed for  $L_{90}$ , it is not necessary to repeat it for T100s and T100a.

### J.4.2.2 Short-line fault (SLF) tests

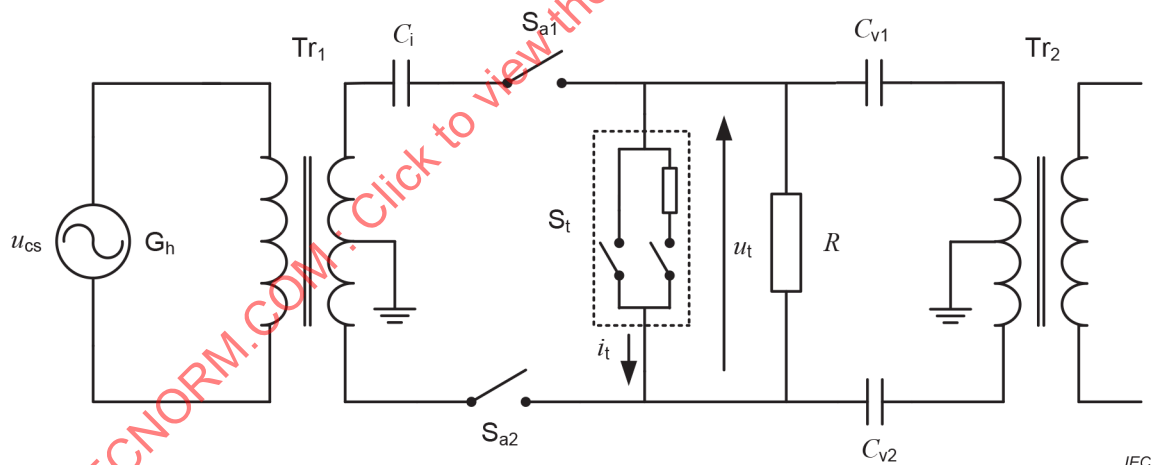
Short-line fault tests shall be performed in accordance with I.2.2.2 of IEC 62271-100:2021 using the test procedure described in J.3.2 and J.3.3.

Checking of the dielectric reignition behaviour is not required if test-duty T100s is performed in accordance with the test procedure described in J.3.3, provided that 7.109.5 of IEC 62271-100:2021 is verified.

### J.4.2.3 Capacitive current tests

Capacitive current tests shall be performed using the test procedure described in J.3.3.

An example of a test circuit using the test procedure described in J.3.3 is given in Figure J.4.



#### Key

|                  |                                     |        |                                    |
|------------------|-------------------------------------|--------|------------------------------------|
| $U_{cs}$         | voltage of the current circuit      | $u_t$  | applied voltage                    |
| $I_t$            | current in the test circuit-breaker | $G_h$  | short-circuit generator            |
| $Tr_1$           | transformer of the current circuit  | $Tr_2$ | transformer of the voltage circuit |
| $C_i$            | capacitor of the current circuit    | $R$    | equivalent resistor                |
| $C_{v1}, C_{v2}$ | capacitor of the voltage circuit    | $S_t$  | test circuit-breaker               |
| $S_{a1}, S_{a2}$ | auxiliary circuit-breakers          |        |                                    |

**Figure J.4 – Example of test circuit for capacitive current switching tests on the making and breaking unit**

### J.4.3 Testing of the resistor switch

#### J.4.3.1 Short-circuit making and breaking tests

Terminal fault test duty T10 and out-of-phase switching test duty OP2 shall be performed in accordance with I.2.3.1 of IEC 62271-100:2021 using the test procedure described in J.3.4. It is not necessary to repeat the other terminal fault test duties (T30, T60, T100a and T100s).

#### J.4.3.2 Short-line fault (SLF) tests

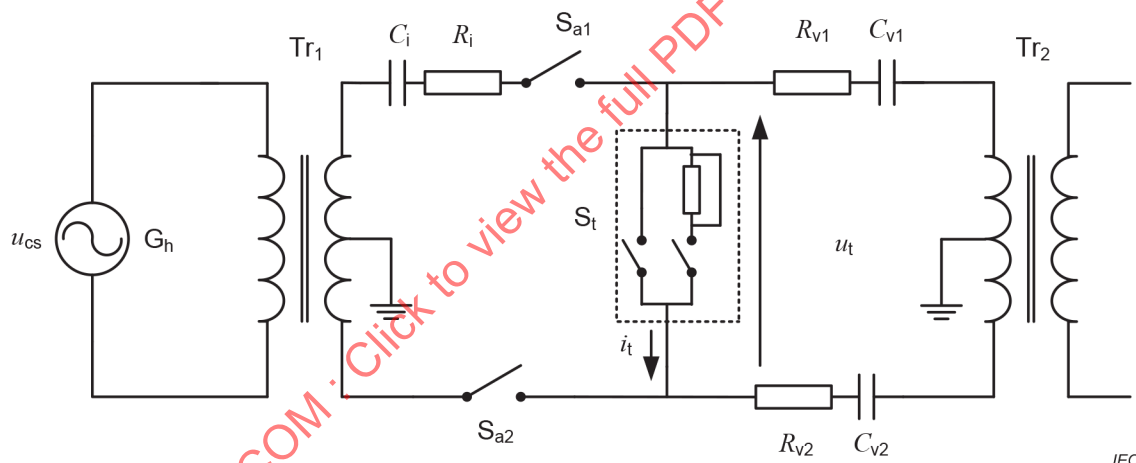
Short-line fault tests shall be performed in accordance with I.2.3.2 of IEC 62271-100:2021 using the test procedure described in J.3.4.

When terminal fault test duty T10 is performed in accordance with J.4.2.1, no SLF tests are required on the resistor switch.

#### J.4.3.3 Capacitive-current tests

Capacitive current tests shall be performed in accordance with I.2.3.3 of IEC 62271-100:2021, using the test procedure described in J.3.4.

An example of a test circuit for capacitive current switching following test procedure J.3.4 is given in Figure J.5.



#### Key

|                  |                                     |                  |                                |
|------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------------|
| $u_{cs}$         | voltage of current circuit          | $u_t$            | applied voltage                |
| $i_t$            | current in the test circuit-breaker | $G_h$            | short-circuit generator        |
| $Tr_1$           | transformer of current circuit      | $Tr_2$           | transformer of voltage circuit |
| $C_i$            | capacitor of current circuit        | $R_i$            | resistor of current circuit    |
| $C_{v1}, C_{v2}$ | capacitor of voltage circuit        | $R_{v1}, R_{v2}$ | resistor of voltage circuit    |
| $S_t$            | test circuit-breaker                | $S_{a1}, S_{a2}$ | auxiliary circuit-breakers     |

**Figure J.5 – Example of test circuit for capacitive current switching tests on the resistor switch**

### J.4.4 Test of the resistor stack

For testing of the resistor stack see I.2.4 of IEC 62271-100:2021.

## **Annex K**

(informative)

### **Combination of current injection and voltage injection methods**

#### **K.1 Current injection methods**

Information related to the current injection methods is given in 4.2.1 of this document and in 14.2 of IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018.

#### **K.2 Voltage injection methods**

Information related to the voltage injection methods is given in 4.2.2 of this document and in 14.4 of IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018.

#### **K.3 Combined current and voltage injection circuits**

##### **K.3.1 General**

In a synthetic test circuit using the combination of current and voltage injection methods, the initial part of the transient recovery voltage is generated by the current injection circuit.

The second part of the transient recovery voltage is generated by a voltage injection circuit (single- or multi-stage).

Two examples of synthetic test circuits are considered in Annex K combining a current injection and a voltage injection (see K.3.2 and K.3.3).

As an auxiliary circuit breaker interrupts the current through the test circuit-breaker at the same time as the test circuit-breaker, the method is not considered to be a current injection method in accordance with 4.2.1 and is not valid to test:

- short-line fault test duties,
- T100s and T100a when tested with ITRV.

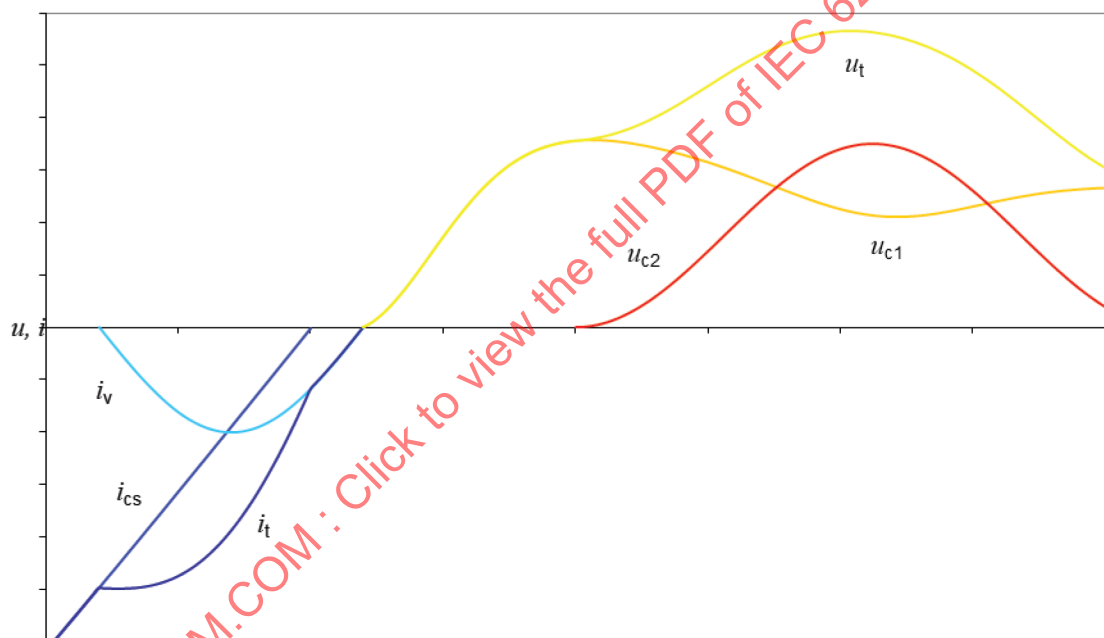
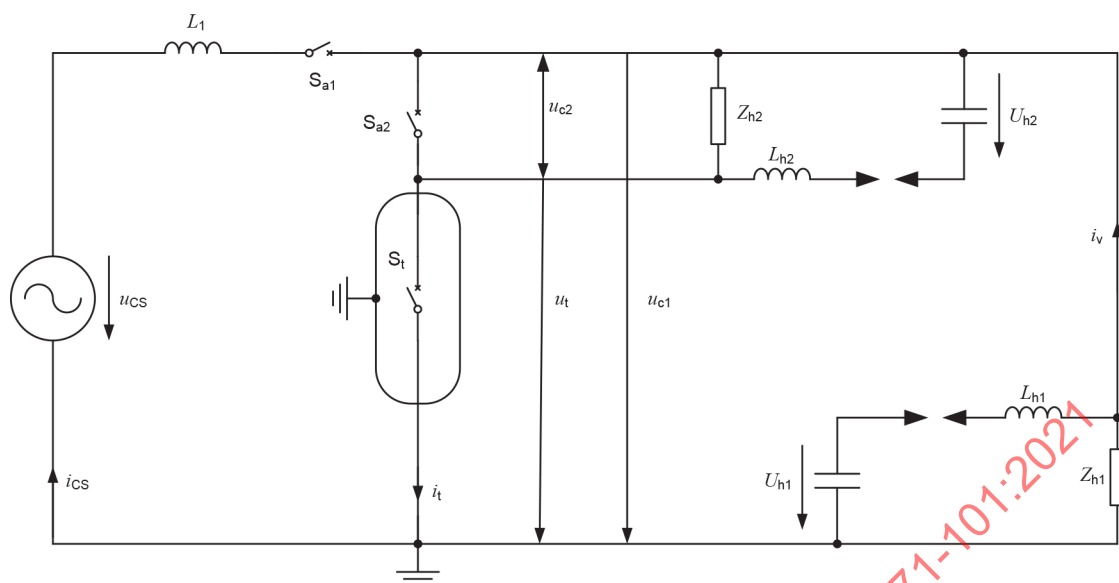
##### **K.3.2 Combined current and voltage injection circuit with application of full test voltage to earth**

This synthetic test circuit with combined current and voltage injection applies the full test voltage to one terminal of the test circuit-breaker with the other terminal earthed (Figure K.1).

##### **K.3.3 Combined current and voltage injection circuit with separated application of test voltage**

This synthetic test circuit applies the current injection circuit to one terminal and the voltage injection circuit to the second terminal (and to the enclosure if applicable) of the test circuit-breaker (Figure K.2).

In case of dead tank or GIS circuit-breaker, this test circuit can be used for out of phase test duty, with the tank earthed.

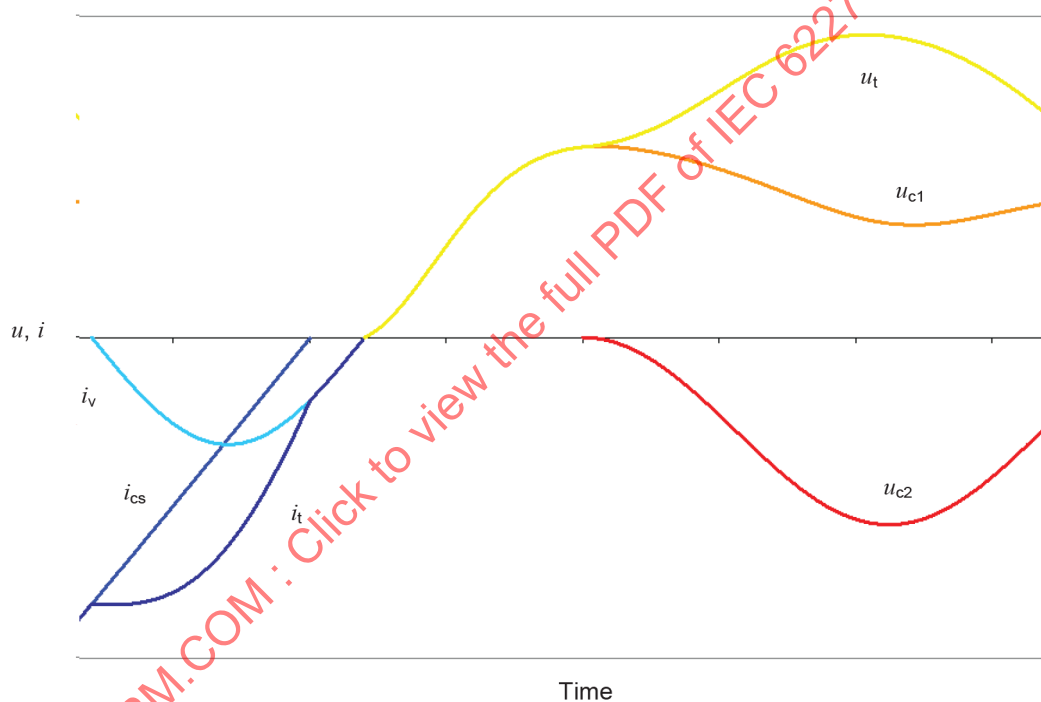
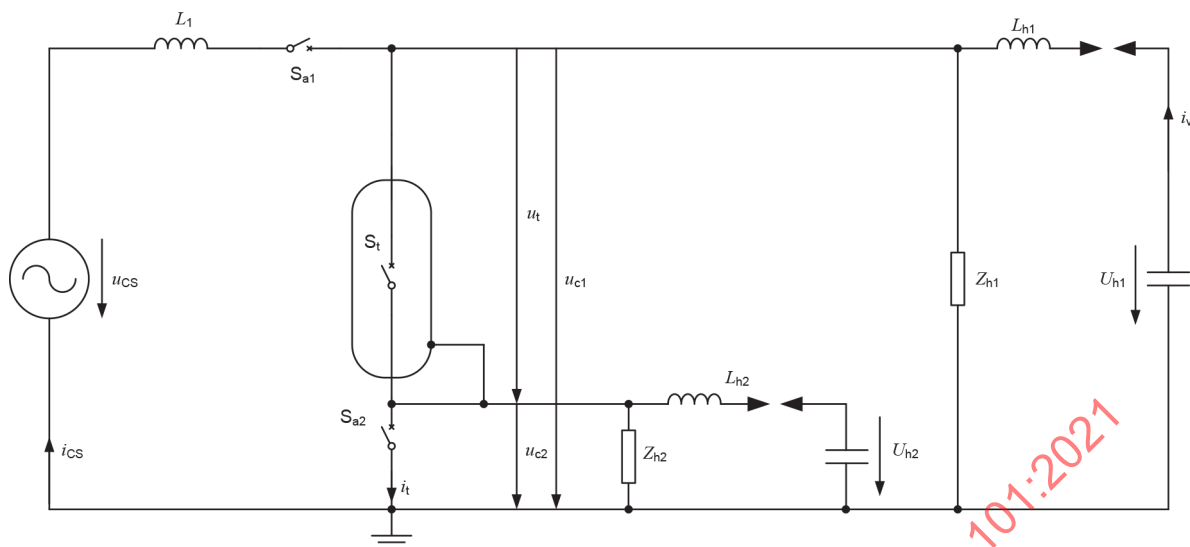


IEC

**Key**

|                  |                                                |                  |                                          |
|------------------|------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------|
| $u_{cs}$         | voltage of current circuit                     | $U_{h1}, U_{h2}$ | charging voltage of voltage circuits     |
| $L_1$            | inductance of current circuit                  | $i_{cs}$         | current of the current circuit           |
| $S_{a1}, S_{a2}$ | auxiliary circuit-breakers                     | $i_v$            | injected current                         |
| $S_t$            | test circuit-breaker                           | $i_t$            | current through the test circuit-breaker |
| $Z_{h1}, Z_{h2}$ | equivalent surge impedance of voltage circuits | $u_{c1}, u_{c2}$ | voltage of the voltage circuits          |
| $L_{h1}, L_{h2}$ | inductance of voltage circuit                  | $u_t$            | voltage across the test circuit-breaker  |

**Figure K.1 – Example of combined current and voltage injection circuit with application of full test voltage to earth**



IEC

# Key

|                  |                                                |                  |                                          |
|------------------|------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------|
| $U_{cs}$         | voltage of current circuit                     | $U_{h1}, U_{h2}$ | charging voltage of voltage circuits     |
| $L_1$            | inductance of current circuit                  | $i_{cs}$         | current of the current circuit           |
| $S_{a1}, S_{a2}$ | auxiliary circuit-breakers                     | $i_v$            | injected current                         |
| $S_t$            | test circuit-breaker                           | $i_t$            | current through the test circuit-breaker |
| $Z_{h1}, Z_{h2}$ | equivalent surge impedance of voltage circuits | $u_{c1}, u_{c2}$ | voltage of the voltage circuits          |
| $L_{h1}, L_{h2}$ | inductance of voltage circuit                  | $u_t$            | voltage across the test circuit-breaker  |

**Figure K.2 – Example of combined current and voltage injection circuit with separated application of test voltage**

## Bibliography

IEC 60050-441, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 441: Switchgear, controlgear and fuses* (available at [www.eletropedia.org](http://www.eletropedia.org))

IEC TR 62271-302:2010, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 302: Alternating current circuit-breakers with intentionally non-simultaneous pole operation*

IEC TR 62271-306:2012, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 306: Guide to IEC 62271-100, IEC 62271-1 and other IEC standards related to alternating current circuit-breakers*

IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018

---

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-101:2021

## SOMMAIRE

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                          | 163 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                               | 165 |
| 2 Références normatives .....                                                                                               | 165 |
| 3 Termes et définitions .....                                                                                               | 165 |
| 4 Techniques et méthodes d'essais synthétiques pour les essais de coupure en court-circuit .....                            | 167 |
| 4.1 Principes fondamentaux et exigences générales pour les méthodes d'essais synthétiques de coupure .....                  | 167 |
| 4.1.1 Généralités .....                                                                                                     | 167 |
| 4.1.2 Période de fort courant .....                                                                                         | 169 |
| 4.1.3 Période d'interaction .....                                                                                           | 169 |
| 4.1.4 Période de haute tension .....                                                                                        | 170 |
| 4.2 Circuits d'essais synthétiques et exigences spécifiques connexes relatives aux essais de coupure .....                  | 172 |
| 4.2.1 Méthodes par injection de courant .....                                                                               | 172 |
| 4.2.2 Méthode par injection de tension .....                                                                                | 173 |
| 4.2.3 Circuit de Skeats (ou par transformateur) .....                                                                       | 174 |
| 4.2.4 Autres méthodes d'essais synthétiques .....                                                                           | 174 |
| 4.3 Méthodes d'essais synthétiques triphasés .....                                                                          | 174 |
| 5 Techniques et méthodes d'essais synthétiques pour les essais d'établissement en court-circuit .....                       | 179 |
| 5.1 Principes fondamentaux et exigences générales pour les méthodes d'essais synthétiques d'établissement .....             | 179 |
| 5.1.1 Généralités .....                                                                                                     | 179 |
| 5.1.2 Période de haute tension .....                                                                                        | 182 |
| 5.1.3 Durée de préarc .....                                                                                                 | 182 |
| 5.1.4 Période de fermeture et d'accrochage et position de fermeture complète .....                                          | 182 |
| 5.2 Circuit d'essai synthétique et exigences spécifiques connexes relatives aux essais d'établissement .....                | 182 |
| 5.2.1 Généralités .....                                                                                                     | 182 |
| 5.2.2 Circuit d'essai et exigences d'essai .....                                                                            | 182 |
| 5.2.3 Méthode d'essai alternative à tension réduite .....                                                                   | 187 |
| 7 Essais de type .....                                                                                                      | 188 |
| 7.102 Généralités .....                                                                                                     | 188 |
| 7.104 Démonstration des durées d'arc .....                                                                                  | 189 |
| 7.107 Essais de défaut aux bornes .....                                                                                     | 200 |
| 7.109 Essais de défaut proche en ligne .....                                                                                | 203 |
| 7.110 Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases .....                                                   | 204 |
| 7.111 Essais au courant capacitif .....                                                                                     | 205 |
| Annexe A (normative) Correction du rapport $di/dt$ et de la TTR pour la séquence d'essais T100a .....                       | 208 |
| A.1 Généralités .....                                                                                                       | 208 |
| A.2 Réduction du rapport $di/dt$ .....                                                                                      | 208 |
| A.3 TTR corrigée pour le premier pôle qui coupe avec l'asymétrie exigée .....                                               | 208 |
| A.4 Correction du rapport $di/dt$ et de la TTR du premier pôle qui coupe pour les essais avec asymétrie intermédiaire ..... | 215 |

|                        |                                                                                                                                                                                             |     |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| A.5                    | Correction du rapport $di/dt$ et de la TTR du deuxième pôle qui coupe ou du dernier pôle qui coupe avec grande alternance rallongée avec asymétrie exigée pendant les essais triphasés..... | 216 |
| A.6                    | Correction du rapport $di/dt$ et de la TTR pendant les essais avec une petite alternance suivante.....                                                                                      | 216 |
| A.7                    | Calcul du rapport $di/dt$ et de la TTR du premier pôle qui coupe.....                                                                                                                       | 216 |
| A.7.1                  | Généralités.....                                                                                                                                                                            | 216 |
| A.7.2                  | Calcul du rapport $di/dt$ .....                                                                                                                                                             | 216 |
| A.7.3                  | Calcul de la TTR.....                                                                                                                                                                       | 217 |
| A.7.4                  | Exemples de calcul du rapport $di/dt$ et de la TTR.....                                                                                                                                     | 219 |
| Annexe B (normative)   | Tolérances sur les grandeurs d'essai lors des essais de type.....                                                                                                                           | 221 |
| Annexe C (normative)   | Indications à donner et résultats à enregistrer lors d'essais synthétiques.....                                                                                                             | 224 |
| C.1                    | Généralités.....                                                                                                                                                                            | 224 |
| C.2                    | Disjoncteur auxiliaire.....                                                                                                                                                                 | 224 |
| C.3                    | Conditions d'essai.....                                                                                                                                                                     | 224 |
| C.4                    | Grandeurs à enregistrer.....                                                                                                                                                                | 224 |
| C.4.1                  | Généralités.....                                                                                                                                                                            | 224 |
| C.4.2                  | Tensions.....                                                                                                                                                                               | 224 |
| C.4.3                  | Courants.....                                                                                                                                                                               | 224 |
| Annexe D (normative)   | Procédure d'essai avec circuit de courant triphasé et un circuit de tension.....                                                                                                            | 225 |
| D.1                    | Circuit d'essai.....                                                                                                                                                                        | 225 |
| D.2                    | Méthode d'essai.....                                                                                                                                                                        | 226 |
| D.2.1                  | Généralités.....                                                                                                                                                                            | 226 |
| D.2.2                  | Séquence d'essais T100s(b).....                                                                                                                                                             | 226 |
| D.2.3                  | Séquence d'essai T100a.....                                                                                                                                                                 | 235 |
| D.2.4                  | Combinaison des facteurs de premier pôle qui coupe 1,3 et 1,5.....                                                                                                                          | 244 |
| Annexe E (normative)   | Séparation des séquences d'essais en séries d'essais compte tenu de la TTR associée à chaque pôle qui coupe.....                                                                            | 247 |
| E.1                    | Généralités.....                                                                                                                                                                            | 247 |
| E.2                    | Séquences d'essais T10, T30, T60, T100s(b), OP1 et OP2(b).....                                                                                                                              | 247 |
| E.2.1                  | Procédure d'essai pour des facteurs de premier pôle qui coupe 1,5 et 2,5.....                                                                                                               | 247 |
| E.2.2                  | Procédure d'essai pour des facteurs de premier pôle qui coupe 1,3 et 2,0.....                                                                                                               | 248 |
| E.2.3                  | Procédure d'essai pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,2.....                                                                                                                     | 249 |
| E.3                    | Séquence d'essai T100a.....                                                                                                                                                                 | 250 |
| E.3.1                  | Généralités.....                                                                                                                                                                            | 250 |
| E.3.2                  | Procédure d'essai pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,5.....                                                                                                                     | 251 |
| E.3.3                  | Procédure d'essai pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,3.....                                                                                                                     | 252 |
| E.3.4                  | Procédure d'essai pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,2.....                                                                                                                     | 254 |
| E.4                    | Combinaison des facteurs de premier pôle qui coupe.....                                                                                                                                     | 255 |
| E.4.1                  | Généralités.....                                                                                                                                                                            | 255 |
| E.4.2                  | Combinaison des facteurs de premier pôle qui coupe 1,3 et 1,5 pour les séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s(b).....                                                                    | 255 |
| E.4.3                  | Combinaison des facteurs de premier pôle qui coupe 2,0 et 2,5 pour les séquences d'essais OP1 et OP2(b).....                                                                                | 256 |
| E.4.4                  | Combinaison des facteurs de premier pôle qui coupe 1,3 et 1,5 pour la séquence d'essais T100a.....                                                                                          | 257 |
| Annexe F (informative) | Circuits d'essais synthétiques triphasés.....                                                                                                                                               | 269 |

|                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| F.1                                                                                                                                 | Généralités .....                                                                                                                                                         | 269 |
| F.2                                                                                                                                 | Circuit combiné d'essais synthétiques triphasés.....                                                                                                                      | 269 |
| F.3                                                                                                                                 | Circuit d'essais synthétiques triphasés avec une injection dans toutes les phases.....                                                                                    | 272 |
| F.4                                                                                                                                 | Circuit d'essais synthétiques triphasés avec une injection en deux phases .....                                                                                           | 273 |
| Annexe G (informative) Exemples de circuits d'essais pour les disjoncteurs sous enveloppe métallique et à cuve mise à la terre..... |                                                                                                                                                                           | 277 |
| Annexe H (informative) Méthode "pas à pas" pour la prolongation de l'arc .....                                                      |                                                                                                                                                                           | 288 |
| Annexe I (informative) Méthodes d'essais synthétiques pour les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs .....    |                                                                                                                                                                           | 290 |
| I.1                                                                                                                                 | Généralités .....                                                                                                                                                         | 290 |
| I.2                                                                                                                                 | Tension de rétablissement .....                                                                                                                                           | 290 |
| I.3                                                                                                                                 | Circuits combinés de courant et de tension .....                                                                                                                          | 291 |
| I.4                                                                                                                                 | Essais d'établissement.....                                                                                                                                               | 291 |
| I.5                                                                                                                                 | Arrachement du courant.....                                                                                                                                               | 291 |
| I.6                                                                                                                                 | Exemples de circuits d'essais .....                                                                                                                                       | 292 |
| Annexe J (normative) Méthodes d'essais synthétiques pour les disjoncteurs équipés de résistances d'ouverture .....                  |                                                                                                                                                                           | 300 |
| J.1                                                                                                                                 | Généralités .....                                                                                                                                                         | 300 |
| J.2                                                                                                                                 | Conditions .....                                                                                                                                                          | 300 |
| J.2.1                                                                                                                               | Généralités .....                                                                                                                                                         | 300 |
| J.2.2                                                                                                                               | Période de tension transitoire de rétablissement.....                                                                                                                     | 300 |
| J.2.3                                                                                                                               | Période de tension de rétablissement à fréquence industrielle .....                                                                                                       | 300 |
| J.3                                                                                                                                 | Procédure d'essai en plusieurs étapes.....                                                                                                                                | 301 |
| J.3.1                                                                                                                               | Généralités .....                                                                                                                                                         | 301 |
| J.3.2                                                                                                                               | Essai de vérification de la capacité de coupure thermique de l'interrupteur principal .....                                                                               | 301 |
| J.3.3                                                                                                                               | Essai de vérification de la capacité de coupure diélectrique de l'interrupteur principal pendant les séquences d'essais en court-circuit avec toute méthode d'essai ..... | 302 |
| J.3.4                                                                                                                               | Essais sur l'interrupteur ou les interrupteurs de résistance .....                                                                                                        | 303 |
| J.4                                                                                                                                 | Exigences d'essais .....                                                                                                                                                  | 304 |
| J.4.1                                                                                                                               | Généralités .....                                                                                                                                                         | 304 |
| J.4.2                                                                                                                               | Essais sur l'interrupteur principal.....                                                                                                                                  | 305 |
| J.4.3                                                                                                                               | Essais sur l'interrupteur de résistance .....                                                                                                                             | 306 |
| J.4.4                                                                                                                               | Essai de l'empilage de résistances .....                                                                                                                                  | 307 |
| Annexe K (informative) Combinaison des méthodes par injection de courant et par injection de tension.....                           |                                                                                                                                                                           | 308 |
| K.1                                                                                                                                 | Méthodes par injection de courant .....                                                                                                                                   | 308 |
| K.2                                                                                                                                 | Méthodes par injection de tension.....                                                                                                                                    | 308 |
| K.3                                                                                                                                 | Circuits combinés d'injection de courant et de tension .....                                                                                                              | 308 |
| K.3.1                                                                                                                               | Généralités .....                                                                                                                                                         | 308 |
| K.3.2                                                                                                                               | Circuit combiné d'injection de courant et de tension avec application de la tension d'essai complète par rapport à la terre.....                                          | 308 |
| K.3.3                                                                                                                               | Circuit combiné d'injection de courant et de tension avec application séparée de la tension d'essai .....                                                                 | 308 |
| Bibliographie.....                                                                                                                  |                                                                                                                                                                           | 311 |

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 1 – Processus de coupure – Instants principaux..... | 168 |
|------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 2 – Exemples d'évaluation de la tension de rétablissement initiale ..... | 171 |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 3 – Impédance d'onde équivalente du circuit de tension pour la méthode par injection de courant .....                                                                                                        | 173 |
| Figure 4 – Lignes de référence de TTR avec quatre paramètres pour $k_{pp} = 1,5$ .....                                                                                                                              | 176 |
| Figure 5 – Lignes de référence de TTR avec quatre paramètres pour $k_{pp} = 1,3$ .....                                                                                                                              | 178 |
| Figure 6 – Lignes de référence de TTR avec quatre paramètres pour $k_{pp} = 1,2$ .....                                                                                                                              | 179 |
| Figure 7 – Processus d'établissement – Instants principaux .....                                                                                                                                                    | 181 |
| Figure 8 – Exemple de circuit d'essais synthétiques d'établissement pour les essais monophasés .....                                                                                                                | 184 |
| Figure 9 – Exemple de circuit d'essais synthétiques d'établissement pour les essais en discordance de phase .....                                                                                                   | 185 |
| Figure 10 – Exemple de circuit d'essais synthétiques d'établissement pour les essais triphasés ( $k_{pp} = 1,5$ ) .....                                                                                             | 186 |
| Figure 11 – Comparaison des réglages de la durée d'arc pendant les essais directs triphasés (gauche) et les essais synthétiques triphasés (droite) pour T100s avec $k_{pp} = 1,5$ .....                             | 192 |
| Figure 12 – Comparaison des réglages de la durée d'arc pendant les essais directs triphasés (gauche) et les essais synthétiques triphasés (droite) pour T100s avec $k_{pp} = 1,3$ .....                             | 193 |
| Figure 13 – Comparaison des réglages de la durée d'arc pendant les essais directs triphasés (gauche) et les essais synthétiques triphasés (droite) pour T100a avec $k_{pp} = 1,5$ .....                             | 196 |
| Figure 14 – Comparaison des réglages de la durée d'arc pendant les essais directs triphasés (gauche) et les essais synthétiques triphasés (droite) pour T100a avec $k_{pp} = 1,3$ .....                             | 197 |
| Figure 15 – Évaluation de la tension de rétablissement en essai synthétique d'établissement et de coupure de courants capacitifs .....                                                                              | 207 |
| Figure D.1 – Exemple d'un circuit de courant triphasé avec une injection synthétique monophasée .....                                                                                                               | 226 |
| Figure D.2 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.1 .....                                                                                                                                             | 228 |
| Figure D.3 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.2 .....                                                                                                                                             | 230 |
| Figure D.4 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.3 .....                                                                                                                                             | 232 |
| Figure D.5 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.4 .....                                                                                                                                             | 234 |
| Figure D.6 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.5 .....                                                                                                                                             | 237 |
| Figure D.7 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.6 .....                                                                                                                                             | 239 |
| Figure D.8 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.7 .....                                                                                                                                             | 241 |
| Figure D.9 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.8 .....                                                                                                                                             | 243 |
| Figure E.1 – Exemple de représentation graphique des essais présentés dans le Tableau E.6 .....                                                                                                                     | 252 |
| Figure E.2 – Exemple de représentation graphique des essais présentés dans le Tableau E.7 et le Tableau E.8 .....                                                                                                   | 254 |
| Figure F.1 – Circuit combiné d'essais synthétiques triphasés .....                                                                                                                                                  | 270 |
| Figure F.2 – Formes d'ondes de courants, tensions phase-terre et entre phases pendant un essai synthétique triphasé (T100s; $k_{pp} = 1,5$ ) réalisé selon le circuit combiné d'essais synthétiques triphasés ..... | 271 |
| Figure F.3 – Circuit d'essais synthétiques triphasés avec injection dans toutes les phases pour $k_{pp} = 1,5$ .....                                                                                                | 272 |

|                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure F.4 – Formes d'ondes de courants et tensions phase-terre pendant un essai synthétique triphasé (T100s; $k_{pp} = 1,5$ ) réalisé selon le circuit d'essais synthétiques triphasés avec injection dans toutes les phases .....       | 273 |
| Figure F.5 – Circuit d'essais synthétiques triphasés pour les essais de défauts aux bornes avec $k_{pp} = 1,3$ (méthode par injection de courant).....                                                                                    | 274 |
| Figure F.6 – Formes d'ondes de courants et tensions phase-terre pendant un essai synthétique triphasé (T100s; $k_{pp} = 1,3$ ) réalisé selon le circuit d'essais synthétiques triphasés présenté à la Figure F.5.....                     | 275 |
| Figure F.7 – Formes d'ondes des tensions TTR du circuit d'essai décrit à la Figure F.5.....                                                                                                                                               | 276 |
| Figure G.1 – Exemple d'un circuit d'essai pour essais par éléments séparés (disjoncteur avec interaction due à la circulation de gaz) .....                                                                                               | 278 |
| Figure G.2 – Oscillogramme correspondant à la Figure G.1 – Exemple des TTR exigées à appliquer entre les bornes de l'unité ou des unités en essai et entre les parties actives et l'enveloppe isolée .....                                | 279 |
| Figure G.3 – Exemple de circuit d'essai utilisant deux circuits de tension pour les essais de coupure.....                                                                                                                                | 280 |
| Figure G.4 – Exemple de circuit d'essai utilisant deux circuits de tension pour les essais de coupure.....                                                                                                                                | 281 |
| Figure G.5 – Exemple d'un circuit d'essai synthétique pour essais par éléments séparés (si l'essai par éléments séparés est autorisé selon 7.102.4.2 de l'IEC 62271-100:2021) .....                                                       | 282 |
| Figure G.6 – Oscillogramme correspondant à la Figure G.3 – Exemple des TTR exigées à appliquer entre les bornes de l'unité ou des unités en essai et entre les parties actives et l'enveloppe isolée .....                                | 283 |
| Figure G.7 – Exemple d'un circuit pour essais capacitifs avec injection de courant avec enveloppe du disjoncteur sous tension .....                                                                                                       | 284 |
| Figure G.8 – Exemple d'un circuit d'essais synthétiques pour essais capacitifs utilisant deux circuits à fréquence industrielle et avec l'enveloppe du disjoncteur sous tension .....                                                     | 285 |
| Figure G.9 – Exemple d'un circuit synthétique pour essais capacitifs avec injection de courant – Essais par éléments séparés d'un demi-pôle d'un disjoncteur à deux éléments par pôle – Enveloppe alimentée par une tension continue..... | 286 |
| Figure G.10 – Exemple d'un circuit d'essais synthétiques d'établissement pour les essais en discordance de phase .....                                                                                                                    | 287 |
| Figure H.1 – Exemple d'un schéma de circuit de réallumage pour prolongation de la durée d'arc .....                                                                                                                                       | 288 |
| Figure H.2 – Exemple de formes d'ondes obtenues pendant un essai symétrique avec le circuit de la Figure H.1 .....                                                                                                                        | 289 |
| Figure I.1 – Circuits en parallèle à fréquence industrielle .....                                                                                                                                                                         | 293 |
| Figure I.2 – Circuit à injection de courant.....                                                                                                                                                                                          | 294 |
| Figure I.3 – Circuit à injection de courant à fréquence industrielle.....                                                                                                                                                                 | 295 |
| Figure I.4 – Circuit à injection de courant, tension de rétablissement appliquée aux deux bornes du disjoncteur .....                                                                                                                     | 296 |
| Figure I.5 – Circuit à injection de courant avec compensation de la décroissance .....                                                                                                                                                    | 297 |
| Figure I.6 – Circuit oscillant LC .....                                                                                                                                                                                                   | 298 |
| Figure I.7 – Circuit d'essai d'établissement du courant d'appel de fermeture .....                                                                                                                                                        | 299 |
| Figure J.1 – Circuit d'essai de vérification de la capacité de coupure thermique de l'interrupteur principal par la méthode par injection de courant .....                                                                                | 302 |
| Figure J.2 – Circuit d'essai de vérification de la capacité de coupure de l'interrupteur principal.....                                                                                                                                   | 303 |
| Figure J.3 – Circuit d'essai de l'interrupteur de résistance .....                                                                                                                                                                        | 304 |

|                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure J.4 – Exemple de circuit d'essai pour essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sur l'interrupteur principal .....               | 306 |
| Figure J.5 – Exemple de circuit d'essai pour essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sur l'interrupteur de résistance.....            | 307 |
| Figure K.1 – Exemple de circuit combiné d'injection de courant et de tension avec application de la tension d'essai complète par rapport à la terre ..... | 309 |
| Figure K.2 – Exemple de circuit combiné d'injection de courant et de tension avec application séparée de la tension d'essai .....                         | 310 |
| Tableau 1 – Tolérances et limites exigées pendant la période de fort courant .....                                                                        | 169 |
| Tableau 2 – Circuits d'essais pour les séquences d'essais T100s et T100a .....                                                                            | 175 |
| Tableau 3 – Paramètres d'essai pendant la coupure triphasée pour les séquences d'essai T10, T30, T60 et T100s, $k_{pp} = 1,5$ .....                       | 176 |
| Tableau 4 – Paramètres d'essai pendant la coupure triphasée pour les séquences d'essai T10, T30, T60 et T100s, $k_{pp} = 1,3$ .....                       | 177 |
| Tableau 5 – Paramètres d'essai pendant la coupure triphasée pour les séquences d'essai T10, T30, T60 et T100s, $k_{pp} = 1,2$ .....                       | 178 |
| Tableau 6 – Symboles et termes abrégés utilisés pour les manœuvres pendant les essais synthétiques .....                                                  | 188 |
| Tableau 7 – Méthodes d'essais synthétiques pour les séquences d'essais T10, T30, T60, T100s, T100a, SP, DEF, OP et SLF .....                              | 201 |
| Tableau A.1 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle qui coupe pour $k_{pp} = 1,3$ et $f_r = 50$ Hz .....                                          | 209 |
| Tableau A.2 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle qui coupe pour $k_{pp} = 1,3$ et $f_r = 60$ Hz .....                                          | 210 |
| Tableau A.3 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle qui coupe pour $k_{pp} = 1,5$ et $f_r = 50$ Hz .....                                          | 212 |
| Tableau A.4 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle qui coupe pour $k_{pp} = 1,5$ et $f_r = 60$ Hz .....                                          | 213 |
| Tableau A.5 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle qui coupe pour $k_{pp} = 1,2$ et $f_r = 50$ Hz .....                                          | 213 |
| Tableau A.6 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle qui coupe pour $k_{pp} = 1,2$ et $f_r = 60$ Hz .....                                          | 214 |
| Tableau A.7 – Pourcentage de la composante continue et $di/dt$ au zéro de courant pour le premier pôle qui coupe pour $f_r = 50$ Hz .....                 | 214 |
| Tableau A.8 – Pourcentage de la composante continue et $di/dt$ au zéro de courant pour le premier pôle qui coupe pour $f_r = 60$ Hz .....                 | 215 |
| Tableau B.1 – Tolérances sur les grandeurs d'essais lors des essais de type .....                                                                         | 222 |
| Tableau D.1 – Démonstration des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,5$ .....                                                                                    | 227 |
| Tableau D.2 – Démonstration alternative des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,5$ .....                                                                        | 229 |
| Tableau D.3 – Démonstration des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,3$ .....                                                                                    | 231 |
| Tableau D.4 – Démonstration alternative des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,3$ .....                                                                        | 233 |
| Tableau D.5 – Démonstration des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,5$ .....                                                                                    | 236 |
| Tableau D.6 – Démonstration alternative des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,5$ .....                                                                        | 238 |
| Tableau D.7 – Démonstration des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,3$ .....                                                                                    | 240 |

|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau D.8 – Démonstration alternative des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,3$ .....                                           | 242 |
| Tableau D.9 – Procédure de combinaison de $k_{pp} = 1,5$ et $1,3$ pour les séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s(b)..... | 244 |
| Tableau D.10 – Procédure de combinaison de $k_{pp} = 1,5$ et $1,3$ pour la séquence d'essai T100a .....                      | 245 |
| Tableau E.1 – Procédure d'essai pour $k_{pp} = 1,5$ et $2,5$ .....                                                           | 247 |
| Tableau E.2 – Procédure d'essai pour $k_{pp} = 1,3$ et $2,0$ .....                                                           | 248 |
| Tableau E.3 – Procédure d'essai simplifiée pour $k_{pp} = 1,3$ et $2,0$ .....                                                | 249 |
| Tableau E.4 – Procédure d'essai pour $k_{pp} = 1,2$ .....                                                                    | 250 |
| Tableau E.5 – Procédure d'essai simplifiée pour $k_{pp} = 1,2$ .....                                                         | 250 |
| Tableau E.6 – Procédure d'essai pour des courants asymétriques pour $k_{pp} = 1,5$ .....                                     | 251 |
| Tableau E.7 – Procédure d'essai pour des courants asymétriques pour $k_{pp} = 1,3$ .....                                     | 253 |
| Tableau E.8 – Procédure d'essai pour des courants asymétriques pour $k_{pp} = 1,2$ .....                                     | 255 |
| Tableau E.9 – Procédure de combinaison de $k_{pp} = 1,3$ et $1,5$ pour les séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s(b)..... | 256 |
| Tableau E.10 – Procédure de combinaison de $k_{pp} = 2,0$ et $2,5$ pour les séquences d'essais OP1 et OP2(b) .....           | 257 |
| Tableau E.11 – Procédure de combinaison de $k_{pp} = 1,5$ et $1,3$ pour la séquence d'essais T100a .....                     | 258 |
| Tableau E.12 – Paramètres d'essais exigés pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,5, f_r = 50$ Hz..... | 259 |
| Tableau E.13 – Paramètres d'essais exigés pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,3, f_r = 50$ Hz..... | 261 |
| Tableau E.14 – Paramètres d'essais exigés pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,2, f_r = 50$ Hz..... | 263 |
| Tableau E.15 – Paramètres d'essais exigés pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,5, f_r = 60$ Hz..... | 264 |
| Tableau E.16 – Paramètres d'essais exigés pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,3, f_r = 60$ Hz..... | 266 |
| Tableau E.17 – Paramètres d'essais exigés pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,2, f_r = 60$ Hz..... | 268 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

## Partie 101: Essais synthétiques

## AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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 du présent document 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.

La Norme internationale IEC 62271-101 a été établie par le sous-comité 17A: Appareils de connexion, du comité d'études 17 de l'IEC: Appareillage à haute tension.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2012 et l'Amendement 1:2017. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à la deuxième édition:

- a) alignement sur la troisième édition de l'IEC 62271-100:2021;
- b) mise à jour du présent document avec les méthodes et techniques récentes utilisées pour les essais synthétiques.

Le texte du présent document est issu des documents suivants:

| FDIS          | Rapport de vote |
|---------------|-----------------|
| 17A/1312/FDIS | 17A/1315/RVD    |

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous [www.iec.ch/standardsdev/publications](http://www.iec.ch/standardsdev/publications).

Cette publication doit être lue conjointement avec l'IEC 62271-100:2021, à laquelle elle se réfère. La numérotation des paragraphes de l'Article 7 reprend celle de l'IEC 62271-100. Néanmoins, tous les paragraphes de l'IEC 62271-100 ne sont pas concernés, uniquement ceux pour lesquels les essais synthétiques ont introduit des modifications.

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

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous [webstore.iec.ch](http://webstore.iec.ch) dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

# APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

## Partie 101: Essais synthétiques

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62271 s'applique principalement aux disjoncteurs à courant alternatif définis dans le domaine d'application de l'IEC 62271-100. Elle donne les règles générales d'essais de ces disjoncteurs, pour les pouvoirs de fermeture et de coupure dans la plage des séquences d'essais décrites de 7.102 à 7.111 de l'IEC 62271-100:2021, à l'aide de méthodes d'essais synthétiques.

Il a été démontré que l'essai synthétique est un moyen économique et techniquement valable pour soumettre à l'essai les disjoncteurs à courant alternatif à haute tension selon les exigences de l'IEC 62271-100, et qu'il est équivalent à un essai direct.

Les méthodes et techniques décrites sont celles d'usage courant. L'objet du présent document est d'établir des critères pour les essais synthétiques et pour l'évaluation correcte des résultats. Ces critères établissent la validité de la méthode d'essai sans limiter l'invention de nouveaux circuits d'essais.

### 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 62271-100:2021, *Appareillage à haute tension – Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif*

### 3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

#### 3.1

##### **essai direct**

essai dans lequel la tension appliquée, le courant, les tensions de rétablissement (transitoire et à fréquence industrielle), sont tous obtenus à partir d'un circuit à une seule source de puissance, laquelle peut être un réseau ou des alternateurs spéciaux comme ceux qui sont utilisés dans les stations d'essais de court-circuit ou une combinaison des deux

#### 3.2

##### **essai synthétique**

essai dans lequel la totalité du courant ou la plus grande partie de celui-ci est obtenue à partir d'une source (circuit de courant) et dans lequel la tension appliquée et/ou les tensions de rétablissement (transitoire et à fréquence industrielle) sont obtenues en totalité ou en partie à partir d'une ou de plusieurs sources séparées (circuits de tension)

### 3.3

#### **disjoncteur auxiliaire**

disjoncteur introduit dans le circuit d'essais synthétiques et utilisé pour établir la relation exigée entre le disjoncteur en essai et différents circuits

### 3.4

#### **circuit de courant**

partie du circuit d'essais synthétiques qui fournit la plus grande part du courant à fréquence industrielle ou sa totalité

### 3.5

#### **circuit de tension**

partie du circuit d'essais synthétiques qui fournit la plus grande part de la tension appliquée et/ou de la tension de rétablissement ou sa totalité

### 3.6

#### **courant présumé**

courant qui circule dans le circuit si chaque pôle des disjoncteurs d'essai et disjoncteurs auxiliaires est remplacé par un conducteur d'impédance négligeable

Note 1 à l'article: Comparée à l'IEC 60050-441:2000, 441-17-01, le domaine entre parenthèses a été supprimé. Dans la définition, l'expression "l'appareil de connexion ou le fusible" a été remplacée par "des disjoncteurs d'essai et disjoncteurs auxiliaires", et la Note à l'article a été supprimée.

### 3.7

#### **courant réel**

courant traversant le disjoncteur en essai

Note 1 à l'article: Le courant réel est un courant présumé modifié par la tension d'arc des disjoncteurs d'essai et auxiliaire.

### 3.8

#### **courant post-arc**

courant qui circule dans l'espace entre les contacts d'arc d'un disjoncteur après que la tension d'arc est devenue nulle et que la tension transitoire de rétablissement commence à croître

### 3.9

#### **méthode par injection de courant**

méthode d'essais synthétiques dans laquelle le circuit de tension est appliqué au disjoncteur en essai avant le zéro de courant à fréquence industrielle

### 3.10

#### **courant transitoire initial d'établissement**

##### **ITMC**

courant transitoire qui circule à travers le disjoncteur lors de l'établissement à l'instant du claquage en tension et avant le début du courant généré par le circuit de courant

Note à l'article: L'abréviation "ITMC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "initial transient making current".

### 3.11

#### **courant injecté**

courant fourni par le circuit de tension d'un circuit à injection de courant au moment auquel cette source est reliée au disjoncteur en essai

### 3.12

#### **méthode par injection de tension**

méthode d'essais synthétiques dans laquelle le circuit de tension est appliqué au disjoncteur en essai après le zéro de courant à fréquence industrielle

**3.13****conditions du réseau de référence**

conditions d'un réseau électrique avec les paramètres constitutifs dont les valeurs assignées et les valeurs d'essai de l'IEC 62271-100 sont dérivées

**3.14****retard de l'enclencheur** $t_m$ 

intervalle de temps, au cours d'un essai synthétique d'établissement, entre l'instant du claquage de la tension appliquée et l'injection de courant à partir du circuit de courant

**3.15****prémorçage**

claquage en tension entre les contacts au cours d'une manœuvre d'enclenchement qui provoque le passage du courant

**3.16****asymétrie intermédiaire**

niveau d'asymétrie dans les deux autres phases qui présentent un niveau d'asymétrie (intermédiaire) réduit lorsque dans un réseau triphasé le courant de court-circuit est initié simultanément dans toutes les phases et que l'asymétrie maximale est obtenue dans l'une des phases

**3.17****vitesse de rupture de la rigidité diélectrique****RDDS**

réduction de la tension de tenue entre les contacts en fonction du temps ou de l'espace de contact durant la fermeture

Note à l'article: L'abréviation "RDDS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "rate of decay of dielectric strength".

[SOURCE: IEC TR 62271-302:2010, 3.7.5, modifiée – "entre les contacts" ajouté après "tension de tenue" en français et "d'un disjoncteur" a été supprimé à la fin de la définition]

**4 Techniques et méthodes d'essais synthétiques pour les essais de coupure en court-circuit****4.1 Principes fondamentaux et exigences générales pour les méthodes d'essais synthétiques de coupure****4.1.1 Généralités**

Toute méthode d'essai synthétique particulière choisie doit contraindre le disjoncteur en essai de manière adéquate. L'adéquation est généralement établie lorsque la méthode d'essai satisfait aux exigences exposées dans les alinéas et les paragraphes suivants de 4.1, 4.2 et 4.3.

Le disjoncteur a deux positions fondamentales: fermé et ouvert. Fermé, il conduit le plein courant avec une chute de tension négligeable entre ses contacts. Ouvert, il ne laisse passer qu'un courant négligeable, mais avec la pleine tension entre ses contacts. Ce fonctionnement définit les deux contraintes principales, la contrainte en courant et la contrainte en tension, qui sont séparées dans le temps.

Si les contraintes de tension et de courant sont plus finement étudiées pendant le processus de coupure (Figure 1), trois périodes principales peuvent être distinguées:

– période de fort courant;

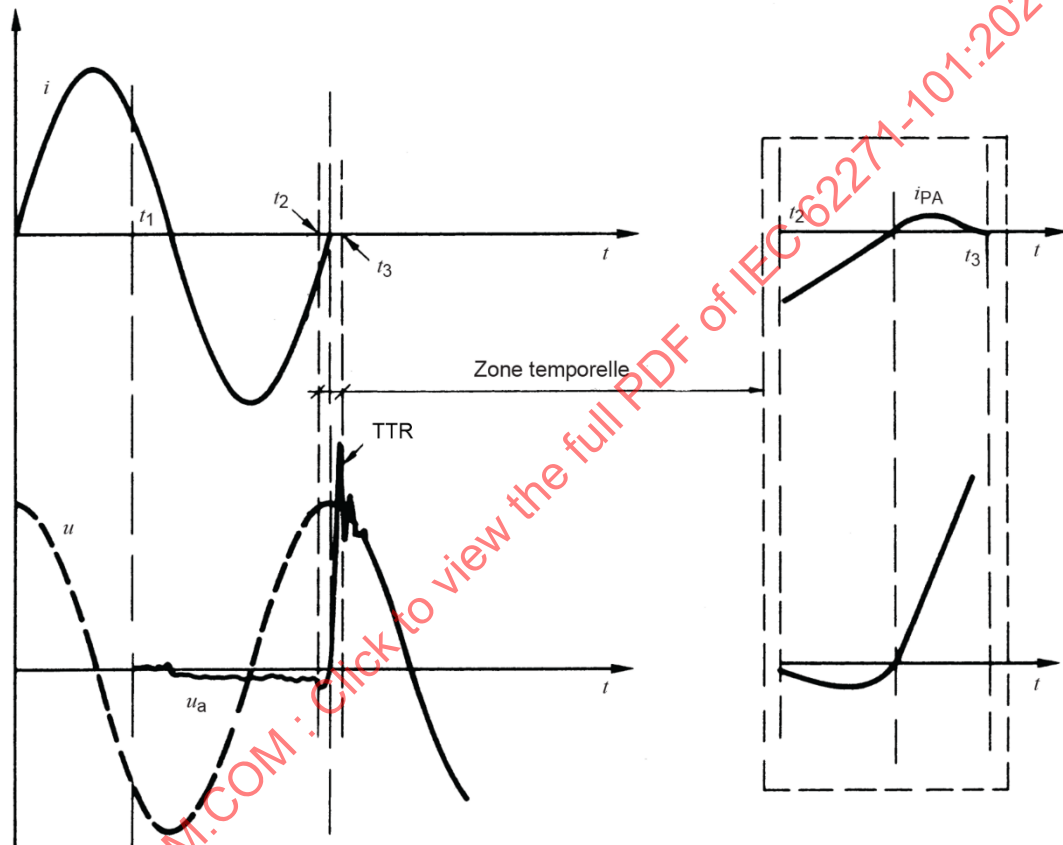
Cette période est définie par le temps entre la séparation des contacts et le début de la variation significative de la tension d'arc. La période de fort courant précède les périodes d'interaction et de haute tension.

- période d'interaction;

Cette période est définie par le temps qui sépare le début de la variation significative de la tension d'arc avant le zéro de courant, de la disparition du courant qui traverse le disjoncteur en essai y compris, s'il existe, le courant post-arc (voir aussi 14.2.4 de l'IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018).

- période de haute tension.

Cette période est définie par le temps qui sépare la disparition du courant traversant le disjoncteur en essai, y compris le courant post-arc, s'il existe, de la fin de l'essai.



IEC

#### Légende

|          |                                       |             |                                                         |
|----------|---------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------|
| $i$      | courant de coupure                    | $t_2$       | début de la variation significative de la tension d'arc |
| $u$      | tension à fréquence industrielle      | $t_3$       | instant de disparition du courant post-arc              |
| $u_a$    | tension d'arc                         | $t_2 - t_1$ | période de fort courant                                 |
| TTR      | tension transitoire de rétablissement | $t_3 - t_2$ | période d'interaction                                   |
| $i_{PA}$ | courant post-arc                      | Après $t_3$ | période de haute tension                                |
| $t_1$    | instant de séparation des contacts    |             |                                                         |

Figure 1 – Processus de coupure – Instants principaux

#### 4.1.2 Période de fort courant

Les tolérances sur la fréquence industrielle du courant de coupure réel sont indiquées au 7.103.2.1 de l'IEC 62271-100:2021. Les exigences suivantes indiquées dans le Tableau 1 concernant le courant réel traversant le disjoncteur en essai doivent être satisfaites:

**Tableau 1 – Tolérances et limites exigées pendant la période de fort courant**

| Séquence d'essais                          | Tolérances et limites relatives aux valeurs d'essai spécifiées du courant de coupure <sup>a</sup> |                          |                                         |                                         |                                                   |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|
|                                            | A la séparation des contacts                                                                      |                          | Dernière alternance avant la coupure    |                                         |                                                   |
|                                            | Valeur efficace<br>%                                                                              | Composante continue<br>% | Valeur de crête<br>%                    | Durée<br>%                              | Produit de la valeur de crête et de la durée<br>% |
| Essai au courant critique<br>T10, T30, OP1 | ±20                                                                                               | ≤ 20                     | ≥ 90                                    | ≥ 90                                    | -                                                 |
| T60                                        | ±10                                                                                               | ≤ 20                     | ≥ 90                                    | ≥ 90                                    | -                                                 |
| T100s                                      | +5<br>0                                                                                           | ≤ 20                     | ≥ 90                                    | ≥ 90                                    | ≥ 95 <sup>b</sup>                                 |
| T100a                                      | ±10                                                                                               |                          | ≤ 110 <sup>c</sup><br>≥ 90 <sup>c</sup> | ≤ 110 <sup>d</sup><br>≥ 90 <sup>d</sup> | ≤ 110<br>≥ 95 <sup>b</sup><br>≥ 90                |
| SP, DEF                                    | +5<br>0                                                                                           | ≤ 20                     | ≥ 90                                    | ≥ 90                                    |                                                   |
| L <sub>90</sub>                            | +5,6<br>0                                                                                         | ≤ 20                     | ≤ 110<br>≥ 95                           | ≥ 90                                    | ≥ 95                                              |
| L <sub>75</sub>                            | ±5,3                                                                                              | ≤ 20                     | ≤ 110<br>≥ 95                           | ≥ 90                                    | ≥ 95                                              |
| L <sub>60</sub>                            | ±8,3                                                                                              | ≤ 20                     | ≤ 110<br>≥ 95                           | ≥ 90                                    | ≥ 95                                              |
| OP2                                        | +10<br>0                                                                                          | ≤ 20                     | ≥ 90                                    | ≥ 90                                    |                                                   |

<sup>a</sup> Ce tableau répertorie les tolérances applicables lors des essais. Les valeurs d'essai spécifiées du courant de coupure, indiquées dans l'Annexe B de l'IEC 62271-100:2021, constituent une valeur unique exempte de toute tolérance.

<sup>b</sup> Applicable uniquement si l'essai est effectué avec la tension transitoire de rétablissement initiale (TTRI).

<sup>c</sup> Valeur de crête spécifiée du courant de coupure multipliée par le facteur de multiplication de la dernière alternance de courant, indiquée du Tableau E.12 au Tableau E.17, et dans le Tableau A.7 et le Tableau A.8.

<sup>d</sup> Durée spécifiée de la dernière alternance de courant indiquée du Tableau E.12 au Tableau E.17, et dans le Tableau A.7 et le Tableau A.8.

Dans de rares cas, lorsque la tension appliquée à partir du circuit de fort courant est de même amplitude que la tension d'essai exigée dans un circuit d'essais directs, il est admis un écart plus important pour la dernière alternance de courant, à condition que l'alternance du courant influencée par l'arc du disjoncteur auxiliaire se situe dans les tolérances spécifiées à l'Annexe B de l'IEC 62271-100:2021.

Des exemples sont donnés au 14.7 de l'IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018.

#### 4.1.3 Période d'interaction

Aucune exigence spécifique n'est définie pour la période d'interaction.

Voir l'IEC TR 62271-306:2012 et l'IEC TR 62271:2012/AMD1:2018.

#### 4.1.4 Période de haute tension

Pendant cette période, l'intervalle entre les contacts du disjoncteur en essai est contraint par la tension de rétablissement.

La TTR présumée doit satisfaire aux exigences du 7.105.5 de l'IEC 62271-100:2021.

Les méthodes qui permettent de déterminer la TTR présumée dans les circuits d'essais synthétiques peuvent être choisies parmi celles décrites dans l'Annexe E de l'IEC 62271-100:2021.

L'impédance du circuit de tension doit être assez faible pour mettre en évidence les claquages, s'il y en a.

Si le disjoncteur en essai est équipé de résistances d'ouverture, une procédure spéciale peut être appliquée (voir Annexe J).

Si la TTR est obtenue à partir de plusieurs sources, il convient que la forme de l'onde résultante ne présente pas de discontinuité appréciable.

En principe, il convient que la tension de rétablissement à fréquence industrielle pour les séquences d'essais de court-circuit fondamentales soit de préférence alternative. Elle doit également satisfaire aux exigences du 7.103.4 de l'IEC 62271-100:2021. Pendant les essais synthétiques, la tension de rétablissement est fournie par le circuit de tension soit directement, soit mise en série avec le circuit de courant. Ce dispositif fait apparaître une tension alternative, une tension continue ou leur combinaison, qui, dans la plupart des cas, décroît du fait de l'énergie limitée du circuit de tension. Il peut alors ne pas être possible de maintenir la tension de rétablissement pendant au moins 0,3 s comme cela est spécifié au 7.103.4 de l'IEC 62271-100:2021. Les écarts par rapport à la tension de rétablissement spécifiée sont acceptables si les conditions suivantes sont remplies:

- la valeur initiale de la tension de rétablissement à fréquence industrielle, sans les oscillations transitoires, ne doit pas être inférieure à la valeur initiale équivalente de la tension de rétablissement à fréquence industrielle indiquée au 7.103.4 de l'IEC 62271-100:2021 qui, pour un essai avec un courant symétrique, apparaît avec une valeur crête minimale de

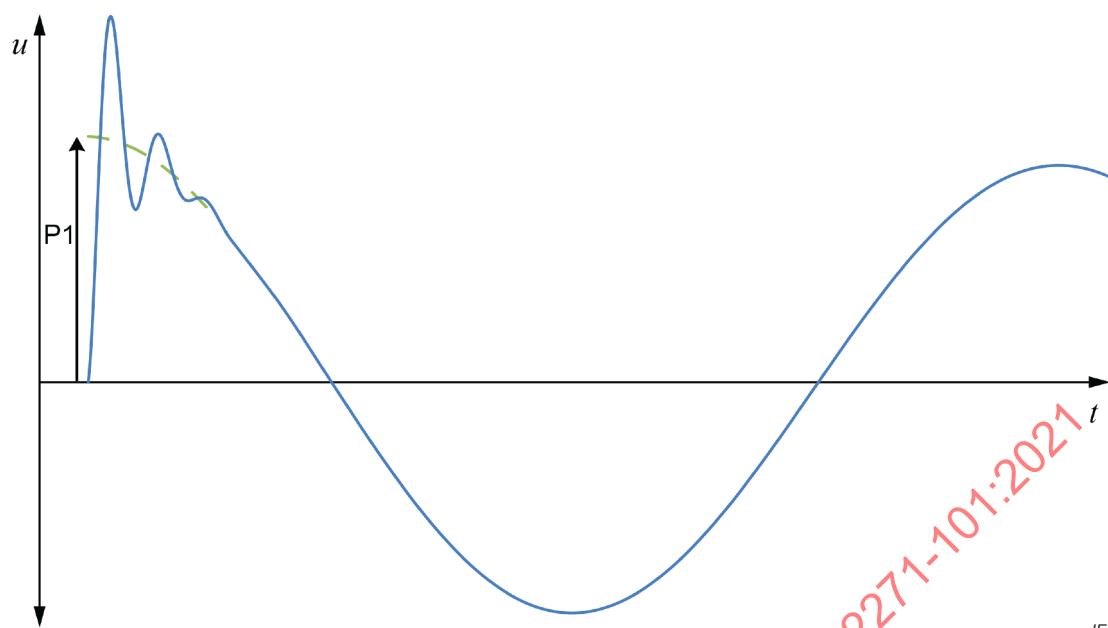
$$0,95 \times k_{pp} \times U_r \sqrt{2/3}$$

où

$k_{pp}$  est le facteur de premier pôle qui coupe;

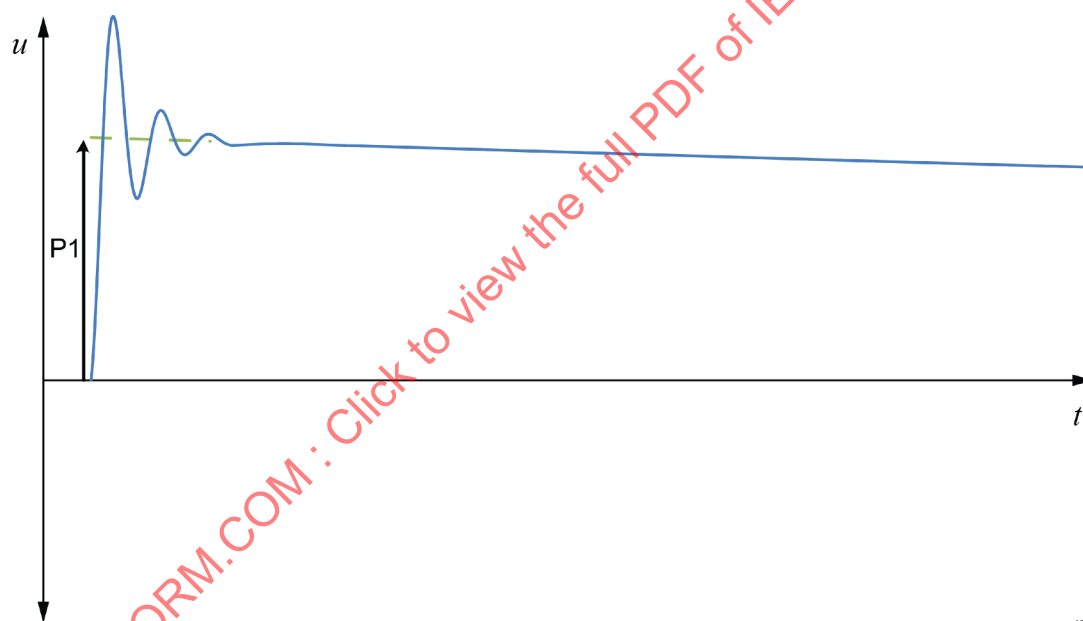
$U_r$  est la tension assignée du disjoncteur;

- qu'une tension de rétablissement continue, alternative, ou alternative et continue combinées à décroissance exponentielle soit utilisée, il convient que sa valeur instantanée (pour la tension continue) ou sa valeur de crête (pour la tension alternative, ou alternative et continue combinées) soit, en principe, maintenue aussi près que possible de  $U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ . Dans tous les cas, cette valeur ne doit pas descendre au-dessous de  $0,5 U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$  en moins de 0,1 s;
- si une tension de rétablissement continue ou continue et alternative combinées, à décroissance exponentielle, impose une contrainte incorrecte au disjoncteur par rapport à celle due à la tension de rétablissement alternative spécifiée dans les conditions du réseau de référence, un circuit d'essai qui satisfait mieux au 7.103.4 de l'IEC 62271-100:2021 et aux limites indiquées ci-dessus peut alors être utilisé;
- la Figure 2 (a) et b)) propose quelques exemples d'évaluation de la tension de rétablissement.



IEC

a) Exemple de tension de rétablissement à fréquence industrielle



IEC

b) Exemple de tension de rétablissement en courant continu en régime établi

**Légende**

|                          |                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P1                       | Point de valeur initiale de la tension de rétablissement (à la fréquence industrielle ou en courant continu en régime établi), $\geq 0,95 \times k_{pp} \times U_r \times \sqrt{\frac{2}{3}}$ |
| Ligne bleue              | Tension de rétablissement soumise à l'essai                                                                                                                                                   |
| Ligne verte en pointillé | Tension de rétablissement à fréquence industrielle ou en courant continu en régime établi soumise à l'essai                                                                                   |

**Figure 2 – Exemples d'évaluation de la tension de rétablissement initiale**

## 4.2 Circuits d'essais synthétiques et exigences spécifiques connexes relatives aux essais de coupure

### 4.2.1 Méthodes par injection de courant

En termes généraux, ces méthodes peuvent se décrire comme suit (voir IEC TR 62271-306):

- le courant du circuit de tension est superposé au courant à fréquence industrielle traversant le disjoncteur en essai avant la période d'interaction;
- le disjoncteur auxiliaire coupe le courant à fréquence industrielle délivré par le circuit de courant avant la période d'interaction.

La méthode par injection de courant est obligatoire pour:

- les séquences d'essais de défaut proche en ligne;
- les séquences d'essais T100s et T100a lorsque les essais sont effectués avec la TTRI.

En raison de la limite inférieure de la fréquence du courant injecté de 250 Hz, il peut être impossible de préparer les circuits d'essai avec une faible vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement – VATR (par exemple, pour un essai par éléments séparés) et/ou une longue durée avant la crête (par exemple, pour une tension assignée élevée). Dans ce cas, lorsque la méthode par injection de courant est obligatoire, l'essai peut être effectué à l'aide de la méthode d'essai en plusieurs parties (voir 7.102.4.3). La première partie de l'essai (zéro de courant et partie initiale de la TTR) doit être effectuée avec une méthode par injection de courant et la seconde partie de l'essai (seconde partie de la TTR et de la TR) peut être effectuée avec une méthode par injection de tension. Quant à l'essai de défaut proche en ligne, il est également possible de l'effectuer avec une alimentation d'essai à puissance limitée, selon 7.109.5 de l'IEC 62271-100:2021.

La durée pendant laquelle l'arc n'est alimenté que par le courant injecté doit être considérée comme partie intégrante de la durée de la dernière alternance avant la coupure.

Si un quelconque dispositif avec un pouvoir de coupure coupe le courant traversant le disjoncteur en essai en même temps que ce dernier, la méthode n'est pas une méthode par injection de courant valide.

Pendant la période d'interaction, le disjoncteur en essai est soumis à la tension du circuit de tension dont l'impédance représente celle du réseau de référence. Cette configuration explique la validité des méthodes par injection de courant. Plusieurs méthodes par injection de courant sont connues, mais seule l'injection de courant parallèle est décrite ici puisqu'il s'agit de la méthode utilisée par la plupart des laboratoires d'essai. Les conditions suivantes doivent être remplies:

- a) circuit de mise en forme d'onde de la TTR;
  - 1) La forme et l'amplitude de la TTR présumée doivent satisfaire aux valeurs spécifiées.
  - 2) L'impédance d'onde équivalente  $Z_h$  (voir Figure 3) doit, en théorie, être égale à  $(du/dt)/(di/dt)$  pendant la période d'interaction.  $du/dt$  est la vitesse d'accroissement de la tension transitoire de rétablissement spécifiée et  $di/dt$  est la vitesse de décroissance du courant de court-circuit spécifié.
  - 3) La combinaison des capacités localisées ou réparties  $C_{dh}$  en parallèle avec  $Z_h$  provoque le retard  $t_d = Z_h \times C_{dh}$ .
- b) inductance du circuit de tension;
 

Sa valeur doit être comprise entre 1,0 et 1,5 fois l'inductance calculée à partir de la tension à fréquence industrielle équivalente divisée par le courant présumé.
- c) fréquence du courant injecté et instant d'injection;
 

La fréquence du courant injecté doit être de préférence de l'ordre de 500 Hz avec une limite inférieure de 250 Hz et une limite supérieure de 1 000 Hz.

Afin d'éviter une influence anormale du courant à fréquence industrielle sur la forme d'onde, la limite inférieure de la fréquence du courant injecté est fixée à 250 Hz.

La fréquence maximale du courant injecté est déterminée par la durée de variation significative de la tension d'arc, durée qui doit être plus courte que le temps pendant lequel l'arc est alimenté uniquement par le courant injecté. Pour cela, il convient que la période de la fréquence injectée soit d'au moins quatre fois la durée de variation significative de la tension d'arc (voir IEC TR 62271-306).

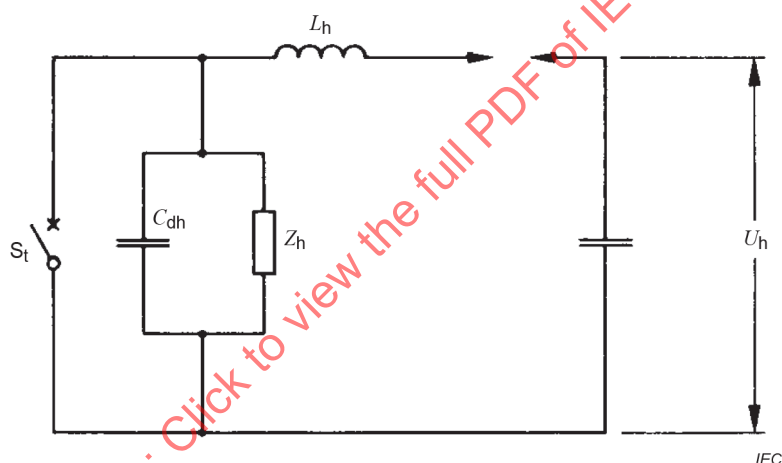
L'instant initial du courant injecté doit être ajusté de façon telle que la durée pendant laquelle le disjoncteur en essai est alimenté uniquement par le courant injecté soit égale à moins d'un quart de la période de la fréquence du courant injecté, avec un maximum de 500 s.

Il convient de veiller à ne pas contraindre indûment le disjoncteur lorsque la durée pendant laquelle le disjoncteur en essai est alimenté seulement par le courant injecté est inférieure à 200 s.

d) forme de l'onde de courant injecté.

La vitesse présumée de décroissance ( $di/dt$ ) du courant injecté au zéro de courant doit correspondre à celle du courant présumé à fréquence industrielle.

Pratiquement, aucune oscillation ne doit perturber le courant injecté pendant au moins 100  $\mu$ s avant le zéro de courant.



**Légende**

- $U_h$  tension de charge du circuit de tension
- $L_h$  inductance du circuit de tension
- $Z_h$  impédance d'onde équivalente
- $C_{dh}$  capacité pour le retard du circuit de tension
- $S_t$  disjoncteur en essai

**Figure 3 – Impédance d'onde équivalente du circuit de tension pour la méthode par injection de courant**

#### 4.2.2 Méthode par injection de tension

Plusieurs méthodes par injection de tension sont connues, mais seule la méthode d'injection série est décrite ici en termes généraux comme suit (voir IEC TR 62271-306):

- la tension fournie par le circuit de tension est appliquée au disjoncteur en essai après la période d'interaction;
- un condensateur en parallèle avec le disjoncteur auxiliaire est utilisé pour appliquer la tension de rétablissement au disjoncteur en essai;
- pendant les périodes de fort courant et d'interaction, seul le circuit de courant alimente le disjoncteur en essai.

Quand cette méthode est utilisée pour les essais relatifs à la capacité de coupure diélectrique du disjoncteur, les conditions suivantes doivent être respectées:

- le circuit de tension doit être conçu de manière à permettre la détection de réallumages ou de réamorçages s'ils apparaissent;  
La capacité aux bornes du disjoncteur auxiliaire doit donc être d'au moins 20 fois la capacité en parallèle avec le disjoncteur en essai. Il convient de veiller à éviter une déformation anormale du courant avant le zéro de courant à fréquence industrielle.
- aucune interruption de la contrainte ne doit provenir de la combinaison du circuit de courant et du circuit de tension.

#### 4.2.3 Circuit de Skeats (ou par transformateur)

En termes généraux, cette méthode peut se décrire comme suit (voir IEC TR 62271-306):

- les courant et tension proviennent du même circuit;
- la tension de rétablissement à fréquence alternative est fournie par un transformateur élévateur dont le primaire est raccordé au circuit de courant;
- la tension de rétablissement est appliquée au disjoncteur en essai par l'intermédiaire d'une impédance (généralement une résistance).

Le disjoncteur auxiliaire coupe le courant avant le disjoncteur en essai, dans un intervalle de temps court. Pendant ce court intervalle de temps, la valeur de la pente de courant  $di/dt$  dans le disjoncteur en essai est diminuée.

Le circuit de Skeats peut être facilement modifié pour fournir la pleine contrainte de tension pendant deux manœuvres d'une séquence (ou plus), par exemple aux fermeture et ouverture d'un cycle CO, aux ouvertures d'un cycle O – t – CO et même à des zéros de courant consécutifs d'une manœuvre d'ouverture. Voir 14.3 de l'IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018.

#### 4.2.4 Autres méthodes d'essais synthétiques

D'autres méthodes peuvent être valables et avantageuses pour l'essai de disjoncteurs de caractéristiques spécifiques ou pour l'essai d'un disjoncteur à des performances spécifiques. Même lorsque ces méthodes ne sont pas décrites dans le présent document, il peut être possible de les appliquer sous réserve d'une étude détaillée des conditions d'utilisation et de l'accord du constructeur et de l'utilisateur.

### 4.3 Méthodes d'essais synthétiques triphasés

Les méthodes d'essais synthétiques triphasés doivent être appliquées pour l'essai des disjoncteurs qui ne peuvent pas être soumis à des essais en unipolaire selon 7.102.4.1 de l'IEC 62271-100:2021. Elles peuvent également être utilisées comme une alternative aux essais synthétiques monophasés, si cela est approprié. Les séquences d'essais de court-circuit T10, T30 et T60 peuvent, dans tous les cas, être réalisées avec circuits d'essais monophasés.

L'Annexe F fournit des exemples de circuits d'essais triphasés.

Afin d'assurer que les contraintes appropriées dans l'élément de coupure et celles entre les pôles et, le cas échéant, l'enveloppe, sont appliquées, les exigences générales suivantes doivent être remplies:

- a) le courant triphasé complet doit être fourni au disjoncteur tripolaire en essai;
- b) les informations concernant les circuits d'essais exigés pour les séquences d'essais T100s et T100a sont données dans le Tableau 2;
- c) les paramètres d'essais pour chaque pôle qui coupe sont donnés du Tableau 3 au Tableau 5;

- d) il convient d'appliquer de préférence toutes les contraintes ci-dessus dans le même essai. Si cela est impossible, il convient d'utiliser une procédure d'essai en plusieurs parties;
- e) afin d'éviter de modifier le raccordement du circuit haute tension au disjoncteur entre les essais de chaque séquence d'essais, il est permis de garder le premier pôle qui coupe dans la même phase pendant toute la séquence, compte tenu des exigences du 7.104.1 de l'IEC 62271-100:2021.

**Tableau 2 – Circuits d'essais pour les séquences d'essais T100s et T100a**

| $k_{pp}$                                                                                                                                                                                                                  | T100s                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                            | T100a                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                           | Premier pôle qui coupe                                                                                                                                       | Autres pôles                                                                                                                                                                                                                                               | Premier pôle qui coupe                                                                                                                                       | Autres pôles                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1,5                                                                                                                                                                                                                       | Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 lors de toutes les manœuvres                                                                 | Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1, 4.2.2 ou 4.2.3 lors de toutes les manœuvres                                                                                                                                                        | Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 pendant au moins deux manœuvres La troisième manœuvre peut être soumise à l'essai avec 4.2.3 | Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 au moins lors de la manœuvre avec la grande alternance rallongée et la durée d'arc la plus longue                                                                                                                                   |
| 1,2 ou 1,3                                                                                                                                                                                                                | Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 pendant au moins deux manœuvres La troisième manœuvre peut être soumise à l'essai avec 4.2.3 | Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 à 4.2.3 lors de toutes les manœuvres. Au deuxième pôle qui coupe lors de la manœuvre avec la durée d'arc la plus longue, application uniquement de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 | Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 pendant au moins deux manœuvres La troisième manœuvre peut être soumise à l'essai avec 4.2.3 | Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 à 4.2.3 lors de toutes les autres manœuvres. Au deuxième pôle qui coupe lors de la manœuvre avec la grande alternance rallongée et la durée d'arc la plus longue, application uniquement de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 |
| <b>Légende</b><br>$k_{pp}$ facteur de premier pôle qui coupe.<br>L'injection de tension n'est permise que s'il n'y a pas d'exigences de TTRI ou si ces exigences sont couvertes par les essais de défaut proche en ligne. |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

**Tableau 3 – Paramètres d'essai pendant la coupure triphasée pour les séquences d'essai T10, T30, T60 et T100s,  $k_{pp} = 1,5$**

| Crête de TTR en % |       |                                     |                                                         | Crête de tension de rétablissement<br>p.u. | du/dr<br>% | di/dr<br>% | Angle de phase<br>° |
|-------------------|-------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------|------------|---------------------|
|                   |       | Au moment du premier pôle qui coupe | Au moment du deuxième et du troisième pôles qui coupent |                                            |            |            |                     |
| Phases            | A     | 100                                 | -                                                       | 1                                          | 100        | 100        | -                   |
|                   | B     | 0                                   | 58                                                      | 1                                          | 70         | 87         | 90                  |
|                   | C     | 0                                   | 58                                                      | 1                                          | 70         | 87         | 90                  |
| Entre phases      | A – B | 100                                 | 58                                                      | 1,732                                      |            |            |                     |
|                   | B – C | 0                                   | 115                                                     | 1,732                                      |            |            |                     |
|                   | A – C | 100                                 | 58                                                      | 1,732                                      |            |            |                     |

TTR crête du premier pôle qui coupe:  $u_c = k_{af} \times k_{pp} \times U_r \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$  (= 100 %).

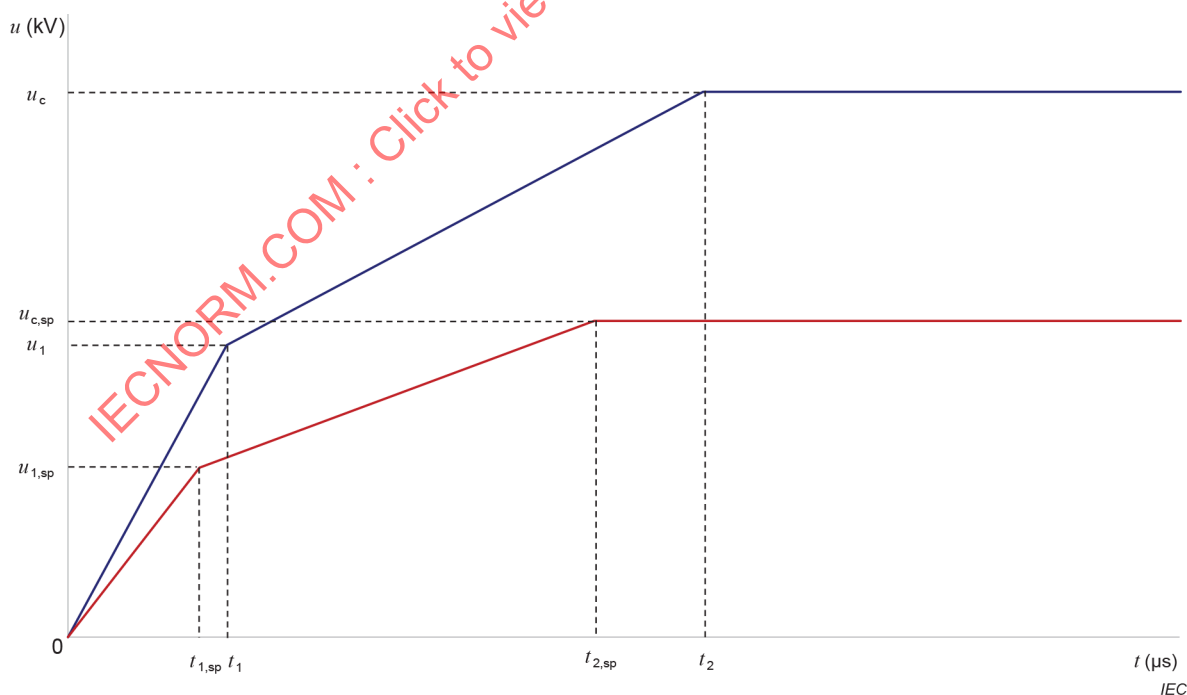
1 p.u. =  $U_r \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$ .

Le premier pôle qui coupe est en phase A.

Les paramètres d'essai sont calculés sur la base des installations de mise à la terre des circuits, comme cela est décrit dans l'IEC TR 62271-306.

Phases B et C de TTR avec 4 paramètres (voir Figure 4):

- $u_1$  la première tension de référence est obtenue avec le même facteur de réduction utilisé pour la TTR crête  $u_c$ .
- $t_1$  est obtenue à partir de  $u_1$  et du facteur de réduction correspondant du/dr.
- $t_2$  est obtenue à partir de  $t_1$  avec maintien du même rapport comme pour le premier pôle qui coupe.



**Légende**

Ligne bleue: premier pôle qui coupe:

Ligne rouge: deuxième et troisième pôles qui coupent

**Figure 4 – Lignes de référence de TTR avec quatre paramètres pour  $k_{pp} = 1,5$**

**Tableau 4 – Paramètres d'essai pendant la coupure triphasée pour les séquences d'essai T10, T30, T60 et T100s,  $k_{pp} = 1,3$**

| Crête de TTR en % |       |                                     |                                                         | Crête de tension de rétablissement<br>p.u. | du/dt<br>% | di/dt<br>% | Angle de phase<br>° |
|-------------------|-------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------|------------|---------------------|
|                   |       | Au moment du premier pôle qui coupe | Au moment du deuxième et du troisième pôles qui coupent |                                            |            |            |                     |
| Phases            | A     | 100                                 | - / -                                                   | 1                                          | 100        | 100        | -                   |
|                   | B     | 0                                   | - / 77                                                  | 1                                          | 70         | 57         | 120                 |
|                   | C     | 0                                   | 97 / -                                                  | 1                                          | 95         | 89         | 77                  |
| Entre phases      | A – B | 100                                 | - / 91                                                  | 1,732                                      |            |            |                     |
|                   | B – C | 0                                   | 97 / 97                                                 | 1,732                                      |            |            |                     |
|                   | A – C | 100                                 | 89 / -                                                  | 1,732                                      |            |            |                     |

TTR crête du premier pôle qui coupe:  $u_c = k_{af} \times k_{pp} \times U_r \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$  (= 100 %).

1 p.u. =  $U_r \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$

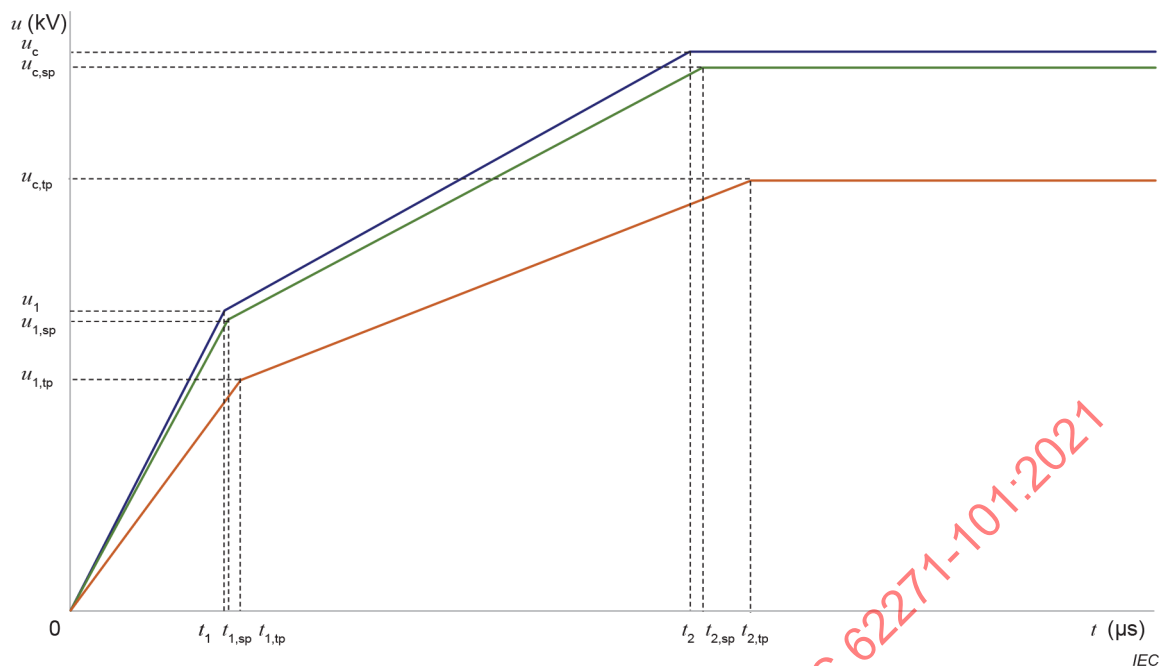
Le premier pôle qui coupe est en phase A.

Le deuxième pôle qui coupe est en phase C.

Les paramètres d'essai sont calculés sur la base des installations de mise à la terre des circuits, comme cela est décrit dans l'IEC TR 62271-306.

Phases B et C de TTR avec 4 paramètres (voir Figure 5):

- $u_1$  la première tension de référence est obtenue avec le même facteur de réduction utilisé pour la TTR crête  $u_c$ .
- $t_1$  est obtenue à partir de  $u_1$  et du facteur de réduction correspondant du/dt.
- $t_2$  est obtenue à partir de  $t_1$  avec maintien du même rapport comme pour le premier pôle qui coupe.



### Légende

Ligne bleue: premier pôle qui coupe:

Ligne verte: deuxième pôle qui coupe

Ligne rouge: troisième pôle qui coupe

**Figure 5 – Lignes de référence de TTR avec quatre paramètres pour  $k_{pp} = 1,3$**

**Tableau 5 – Paramètres d'essai pendant la coupure triphasée pour les séquences d'essai T10, T30, T60 et T100s,  $k_{pp} = 1,2$**

| Crête de TTR en % |       |                                     |                                                         | Crête de tension de rétablissement<br>p.u. | du/dt<br>% | di/dt<br>% | Angle de phase<br>° |
|-------------------|-------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------|------------|---------------------|
|                   |       | Au moment du premier pôle qui coupe | Au moment du deuxième et du troisième pôles qui coupent |                                            |            |            |                     |
| Phases            | A     | 100                                 | - / -                                                   | 1                                          | 100        | 100        | -                   |
|                   | B     | 0                                   | - / 83                                                  | 1                                          | 83         | 75         | 120                 |
|                   | C     | 0                                   | 95 / -                                                  | 1                                          | 95         | 92         | 71                  |
| Entre phases      | A – B | 100                                 | - / 124                                                 | 1,732                                      |            |            |                     |
|                   | B – C | 0                                   | 95 / 126                                                | 1,732                                      |            |            |                     |
|                   | A – C | 100                                 | 105 / -                                                 | 1,732                                      |            |            |                     |

TTR crête du premier pôle:  $u_c = k_{af} \times k_{pp} \times U_r \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$

1 p.u. =  $U_r \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$

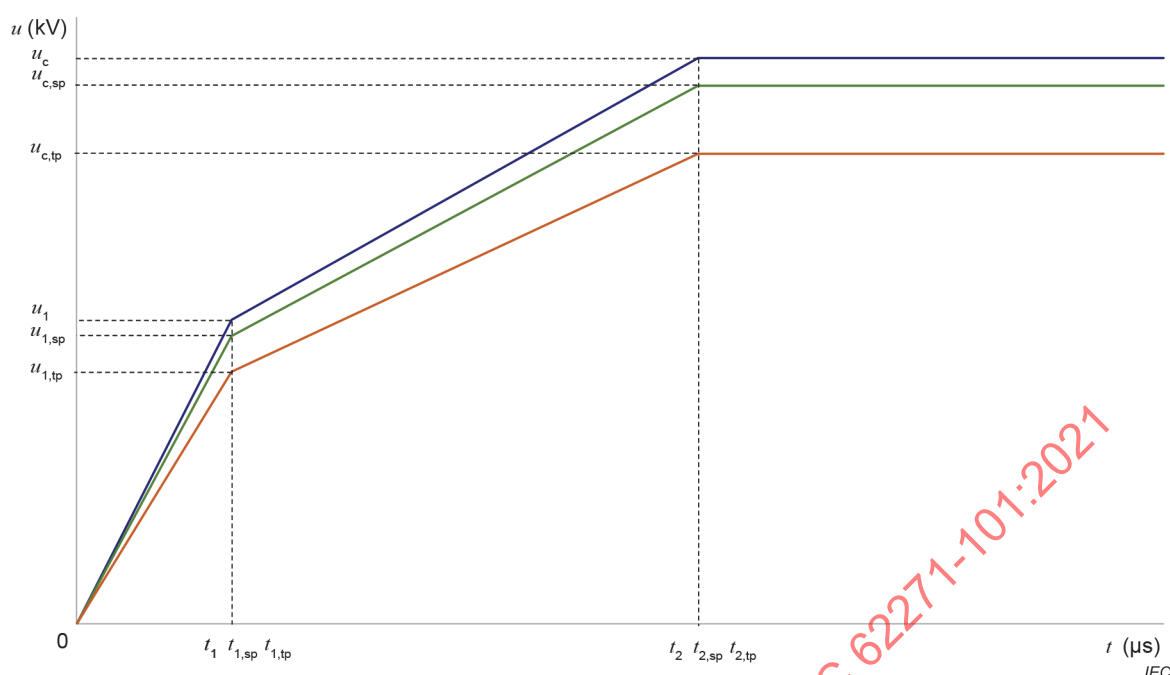
Le premier pôle qui coupe est en phase A.

Le deuxième pôle qui coupe est en phase C.

Les paramètres d'essai sont calculés sur la base des installations de mise à la terre des circuits, comme cela est décrit dans l'IEC TR 62271-306.

Phases B et C de TTR avec 4 paramètres (voir Figure 6):

- $u_1$  la première tension de référence est obtenue avec le même facteur de réduction utilisé pour la TTR crête  $u_c$ .
- $t_1$  est obtenue à partir de  $u_1$  et du facteur de réduction correspondant du/dt.
- $t_2$  est obtenue à partir de  $t_1$  avec maintien du même rapport comme pour le premier pôle qui coupe.



#### Légende

Ligne bleue: premier pôle qui coupe

Ligne verte: deuxième pôle qui coupe

Ligne rouge: troisième pôle qui coupe

**Figure 6 – Lignes de référence de TTR avec quatre paramètres pour  $k_{pp} = 1,2$**

## 5 Techniques et méthodes d'essais synthétiques pour les essais d'établissement en court-circuit

### 5.1 Principes fondamentaux et exigences générales pour les méthodes d'essais synthétiques d'établissement

#### 5.1.1 Généralités

Pendant une fermeture sur un court-circuit, l'espace entre contacts du disjoncteur est soumis à la tension appliquée selon 7.105.1 de l'IEC 62271-100:2021. Après l'instant de claquage, le disjoncteur est soumis au courant d'établissement selon 7.105.2.1 de l'IEC 62271-100:2021. Dans un circuit d'essais synthétiques, la tension appliquée est fournie par un circuit de tension séparé et le courant de court-circuit par un circuit de courant à tension réduite. Ce circuit de courant est connecté au disjoncteur immédiatement après claquage de l'espace entre contacts au moyen d'un enclencheur rapide, par exemple un éclateur déclenché.

Toute méthode d'essai synthétique particulière choisie doit contraindre le disjoncteur en essai de manière adéquate. L'adéquation est généralement établie lorsque la méthode d'essai satisfait aux exigences exposées dans les alinéas et les paragraphes suivants de 5.1 et 5.2.

Avant l'établissement, un disjoncteur supporte entre ses contacts la tension assignée entre phase et terre: à la fermeture, il est traversé par le courant de court-circuit assigné. Si les contraintes de tension et de courant sont plus finement étudiées pendant l'essai d'établissement (voir Figure 7 a) et b)), trois périodes principales peuvent apparaître:

- période de haute tension;

La période de haute tension est la durée entre le commencement de l'essai, disjoncteur ouvert, et le moment du claquage de l'espace entre contacts.

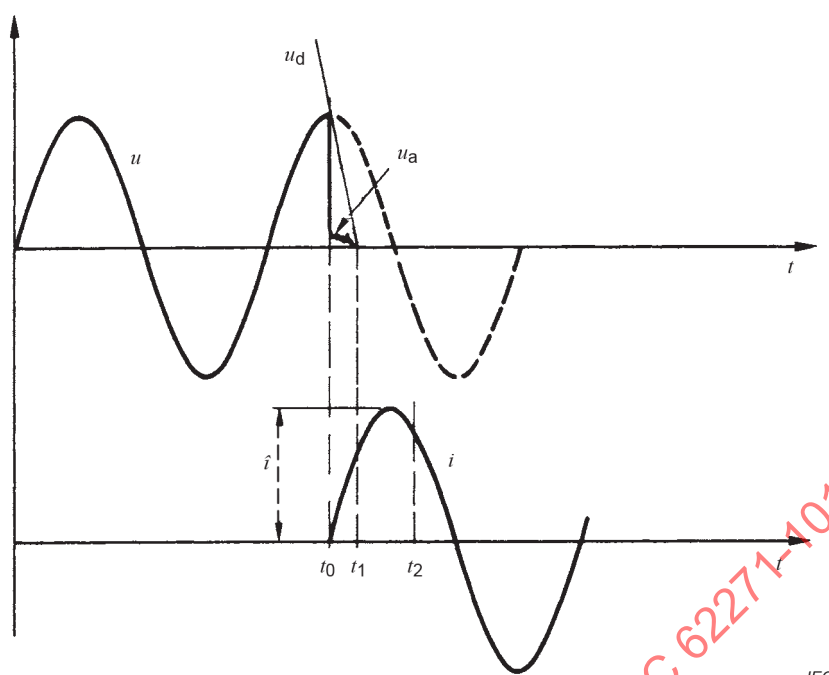
- durée de préarc;

La durée de préarc est la durée, pendant la fermeture des contacts du disjoncteur, entre l'instant de claquage de l'espace entre contacts et l'instant auquel les contacts se touchent.

- période de fermeture et d'accrochage.

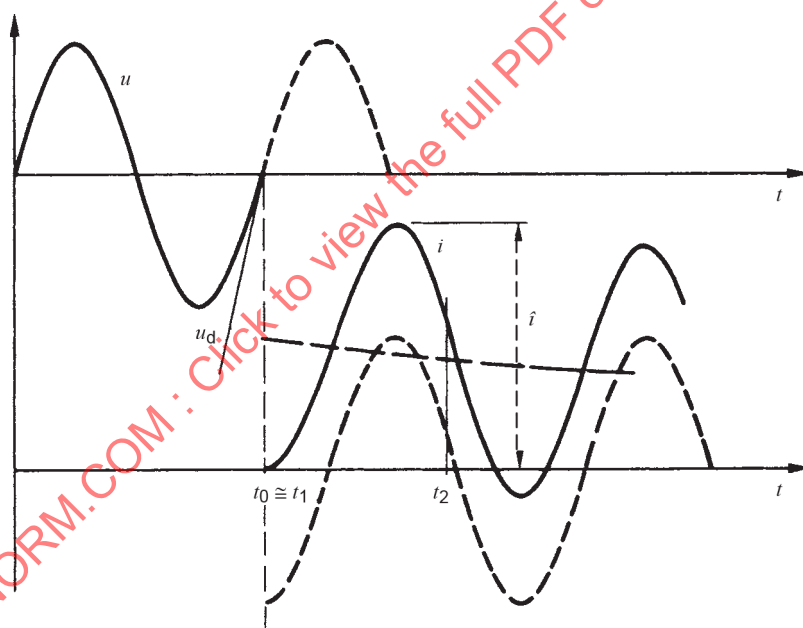
La période de fermeture et d'accrochage est la durée, pendant la fermeture du disjoncteur, qui sépare l'instant auquel les contacts se touchent de l'instant auquel le mouvement des contacts s'arrête (position fermée).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-101:2021



IEC

a) Courant établi symétrique



IEC

b) Courant établi asymétrique

## Légende

|           |                                  |       |                                                      |
|-----------|----------------------------------|-------|------------------------------------------------------|
| $i$       | courant                          | $u_a$ | tension d'arc                                        |
| $\hat{i}$ | valeur crête du courant établi   | $t_0$ | instant de préamorçage                               |
| $u$       | tension à fréquence industrielle | $t_1$ | instant auquel les contacts se touchent              |
| $u_d$     | RDDS                             | $t_2$ | instant d'obtention de la position totalement fermée |

Figure 7 – Processus d'établissement – Instants principaux

### 5.1.2 Période de haute tension

Pendant cette durée, le disjoncteur doit être contraint par le circuit d'essai de manière telle que les conditions initiales de la durée de préarc, avec des tolérances à préciser, soient les mêmes que celles qui apparaissent dans les conditions suivantes du réseau de référence. La tension appliquée doit satisfaire à l'exigence établie au 7.105.1 de l'IEC 62271-100:2021.

### 5.1.3 Durée de préarc

Pendant cette durée, des forces électrodynamiques sont produites par le courant sur le disjoncteur et l'énergie d'arc produit des dégradations. Le courant possède trois composantes:

- le courant transitoire initial d'établissement (ITMC - *initial transient making current*);
- les composantes continue et alternative du courant de court-circuit.

Deux cas typiques peuvent se présenter selon l'instant de fermeture:

- le claquage apparaît près de la crête de la tension appliquée, ce qui établit un courant presque symétrique. L'énergie de préarc et l'ITMC sont relativement élevés;
- le claquage apparaît près du zéro de la tension appliquée, ce qui établit un courant asymétrique. L'énergie de préarc et l'ITMC sont négligeables.

### 5.1.4 Période de fermeture et d'accrochage et position de fermeture complète

Pendant ces périodes, le disjoncteur doit se fermer en présence des forces électrodynamiques dues au courant, et des forces de frottement des contacts. Le courant d'établissement doit donc satisfaire au 5.103 de l'IEC 62271-100:2021 pendant ces périodes.

## 5.2 Circuit d'essai synthétique et exigences spécifiques connexes relatives aux essais d'établissement

### 5.2.1 Généralités

L'essai d'établissement triphasé en court-circuit peut être effectué avec l'un quelconque des circuits d'essais pour couvrir les applications selon  $k_{pp}=1,5$ ,  $k_{pp} = 1,3$ ,  $k_{pp} = 1,2$  ou  $k_{pp} = 1,0$ .

La procédure d'essai synthétique est appliquée pour satisfaire à l'exigence a) du 7.105.2.1 de l'IEC 62271-100:2021.

### 5.2.2 Circuit d'essai et exigences d'essai

Le circuit d'essai se compose de deux circuits, à savoir le circuit de courant et le circuit de tension. Des exemples de circuits qui présentent des formes d'ondes de tension et de courant sont donnés à la Figure 8 et à la Figure 9 pour le monophasé et à la Figure 10 pour le triphasé:

- le circuit de tension fournit:
  - la tension appliquée pendant la période de haute tension;
  - l'ITMC pendant la durée de préarc, par la décharge du circuit ITMC.
- le circuit de courant fournit le courant d'établissement pendant la durée de préarc et la période de fermeture et d'accrochage.

Le circuit haute tension peut être un circuit alternatif, un circuit continu ou une combinaison des deux.

Le courant injecté fourni par le circuit de tension doit permettre l'établissement du préarc jusqu'au claquage de l'espace d'établissement rapide. En conséquence, la constante de temps du circuit ITMC doit être suffisamment longue pour assurer le passage du courant pendant le retard de l'enclencheur.

Pour la manœuvre d'établissement T100s établie au point a) du 7.105.2.1 de l'IEC 62271-100:2021, les conditions suivantes doivent être satisfaites:

- la valeur instantanée de la tension appliquée à l'amorçage du préarc pour la première phase qui établit n'est pas inférieure à 97 % des exigences du 7.105.1 de l'IEC 62271-100:2021;
- le retard de l'enclencheur ( $t_m$ ) est inférieur à 300  $\mu$ s;
- le courant de crête réel de la 1<sup>re</sup> alternance n'est pas inférieur à 0,74 p.u. et ne dépasse pas 1,26 p.u., le courant de crête de 1,0 p.u. étant la valeur de crête du pouvoir symétrique de coupure assigné en court-circuit;

NOTE 1 Un essai pour lequel un courant initial antérieur est obtenu entre  $-15^\circ$  et  $-30^\circ$ , ce qui donne un courant réel jusqu'à 1,5 p.u., est considéré comme plus sévère.

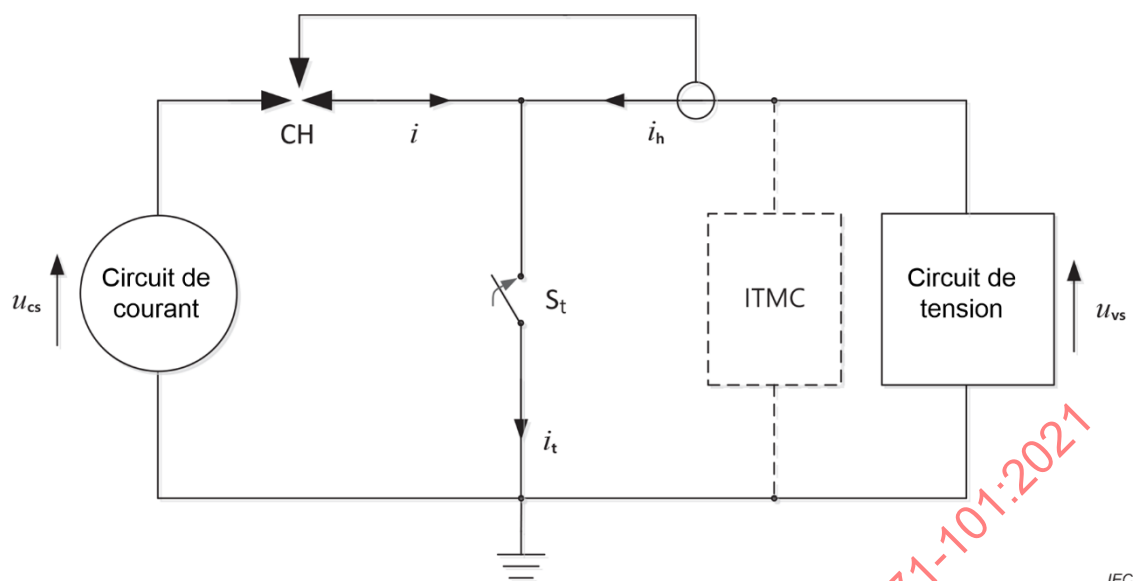
- le courant de court-circuit, lorsque l'essai est effectué comme une manœuvre d'établissement séparée, est maintenu pendant une période d'au moins 100 ms, comme cela est spécifié au 7.107.5.1 de l'IEC 62271-100:2021.

Pour la manœuvre d'établissement de la séquence d'essais OP2, les conditions suivantes doivent être satisfaites:

- la valeur instantanée de la tension appliquée à l'amorçage du préarc n'est pas inférieure à 92 % des exigences du 7.110.3 de l'IEC 62271-100:2021;
- le retard de l'enclencheur ( $t_m$ ) est inférieur à 300  $\mu$ s;
- si la période de préarc est inférieure ou égale à un demi-cycle à fréquence industrielle, aucune autre exigence par rapport au courant n'est spécifiée, à condition que le courant efficace ne soit pas inférieur à 1 kA;
- si la période de préarc est supérieure à un demi-cycle à fréquence industrielle, le courant de crête réel de la 1<sup>re</sup> alternance n'est pas inférieur à 0,74 p.u et ne dépasse pas 1,26 p.u. Le courant de crête de 1,0 p.u. est la valeur de crête du courant symétrique de coupure assigné en discordance de phase;

NOTE 2 Un essai pour lequel un courant initial antérieur est obtenu entre  $-15^\circ$  et  $-30^\circ$ , ce qui donne un courant réel jusqu'à 1,5 p.u., est considéré comme plus sévère.

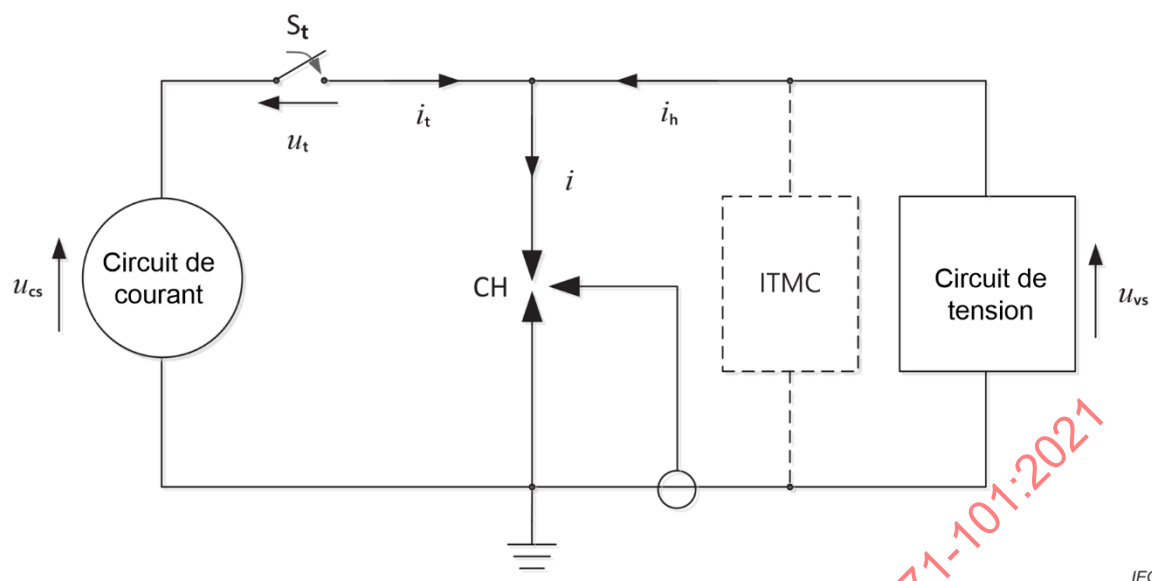
- lorsque l'essai est effectué comme une manœuvre d'établissement séparée, le courant d'établissement en discordance de phases est maintenu pendant une période d'au moins 100 ms.



### Légende

|          |                                                                   |          |                                                    |
|----------|-------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------|
| $u_{cs}$ | tension du circuit de courant                                     | $u_{vs}$ | tension du circuit de tension                      |
| CH       | enclencheur (éclateur déclenché)                                  | $i_h$    | courant transitoire initial d'établissement (ITMC) |
| $i$      | courant à fréquence industrielle fourni par le circuit de courant | $i_t$    | courant traversant le disjoncteur en essai         |
| $S_t$    | disjoncteur en essai                                              | $t_m$    | retard de l'enclencheur                            |

**Figure 8 – Exemple de circuit d'essais synthétiques d'établissement pour les essais monophasés**

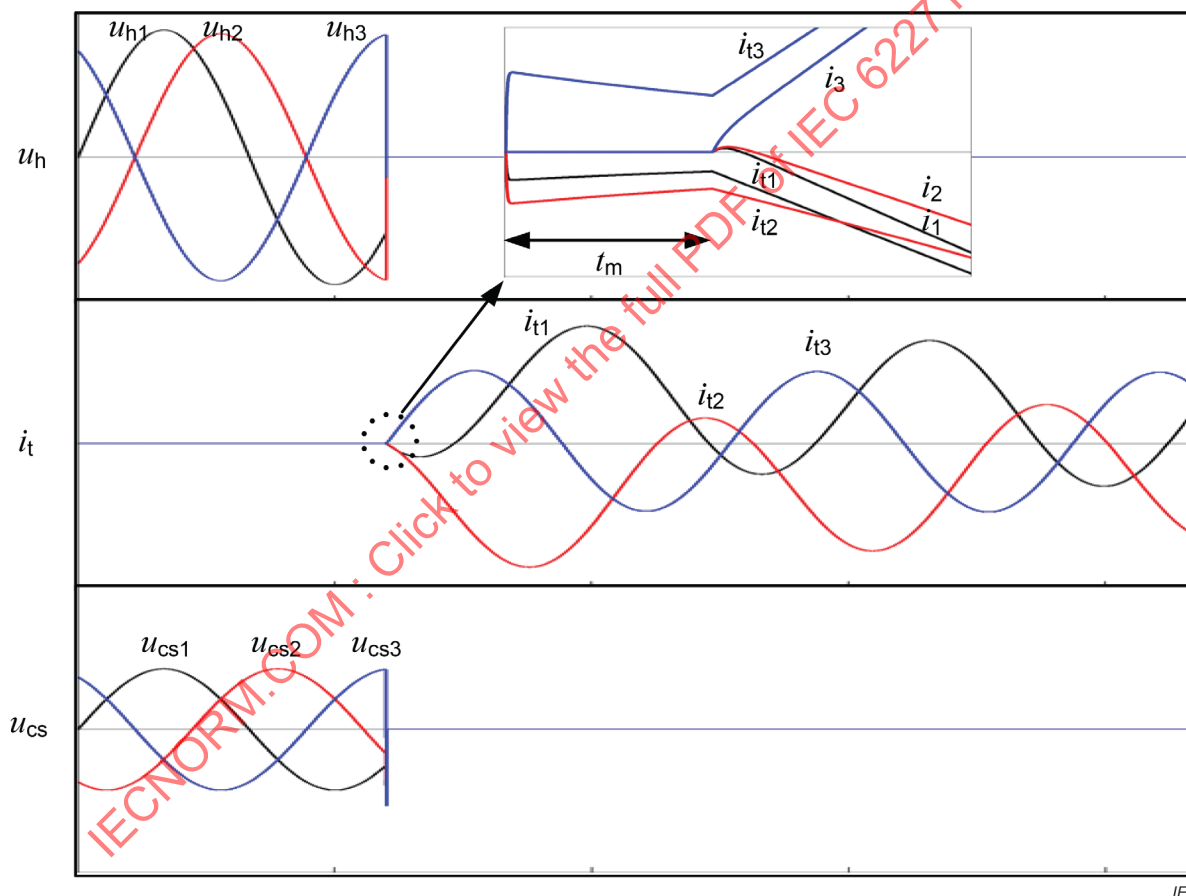
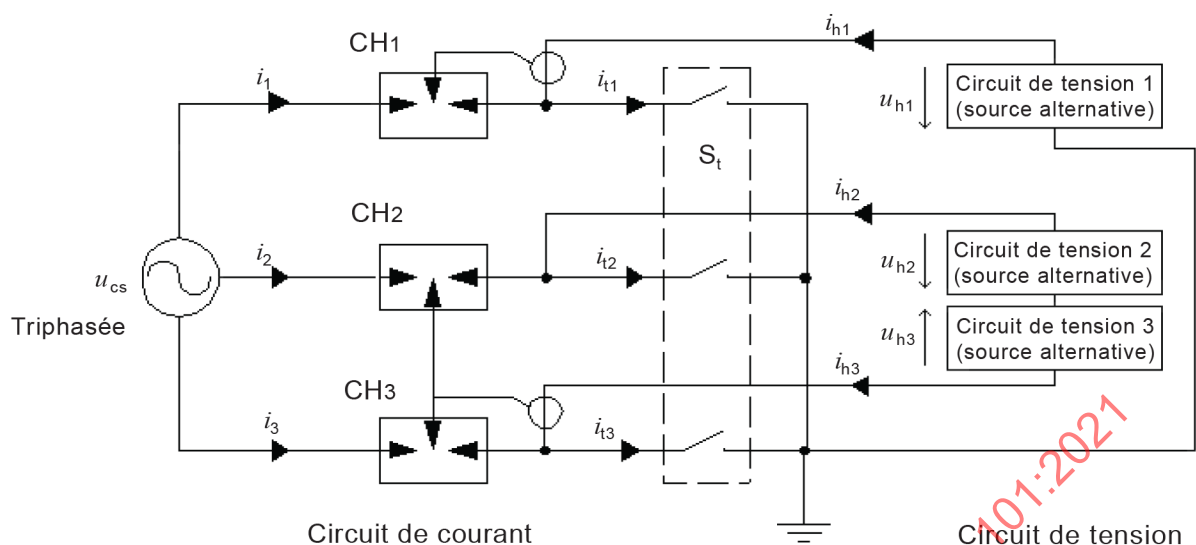


IEC

**Légende**

|          |                                                                   |          |                                                    |
|----------|-------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------|
| $u_{cs}$ | tension du circuit de courant                                     | $u_{vs}$ | tension du circuit de tension                      |
| CH       | enclencheur (éclateur déclenché)                                  | $i_h$    | courant transitoire initial d'établissement (ITMC) |
| $i$      | courant à fréquence industrielle fourni par le circuit de courant | $i_t$    | courant traversant le disjoncteur en essai         |
| $S_t$    | disjoncteur en essai                                              | $u_t$    | tension d'essai aux bornes du disjoncteur en essai |
| $t_m$    | retard de l'enclencheur                                           |          |                                                    |

**Figure 9 – Exemple de circuit d'essais synthétiques d'établissement pour les essais en discordance de phase**



IEC

### Légende

|                             |                                                    |                                                     |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------|
| $u_{cs1}, u_{cs2}, u_{cs3}$ | tension du circuit de courant                      | $u_{h1}, u_{h2}, u_{h3}$                            | tension appliquée                |
| $i_1, i_2, i_3$             | courant fourni par le circuit de courant           | CH <sub>1</sub> , CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> | enclencheur (éclateur déclenché) |
| $i_{t1}, i_{t2}, i_{t3}$    | courant traversant l'objet d'essai                 | $S_t$                                               | disjoncteur en essai             |
| $i_{h1}, i_{h2}, i_{h3}$    | courant transitoire initial d'établissement (ITMC) | $t_m$                                               | retard de l'enclencheur          |

**Figure 10 – Exemple de circuit d'essais synthétiques d'établissement pour les essais triphasés ( $k_{pp} = 1,5$ )**

### **5.2.3 Méthode d'essai alternative à tension réduite**

#### **5.2.3.1 Généralités**

Cette méthode d'essai alternative n'est autorisée qu'avec l'accord du constructeur.

L'essai comprend deux parties:

- partie 1: un essai à la tension assignée et au courant réduit pour déterminer la période de préarc;
- partie 2: un essai à la tension réduite et au courant d'établissement assigné, avec la période de préarc exigée.

#### **5.2.3.2 Partie 1: détermination de la période de préarc**

##### **5.2.3.2.1 Généralités**

La période de préarc doit être déterminée par des essais d'établissement effectués à la tension assignée et au courant réduit. La disposition du disjoncteur doit être telle que décrite au 7.105.1 de l'IEC 62271-100 2021. Le courant doit être suffisamment faible pour éviter l'érosion des contacts.

##### **5.2.3.2.2 Essais monophasés**

Lorsque la conception du disjoncteur permet des essais unipolaires, au moins deux essais d'établissement qui permettent d'évaluer la période de préarc doivent aboutir à un instant d'injection de courant qui correspond à un angle de  $-15^\circ$  à  $+15^\circ$  sur la crête de la forme d'onde de tension alternative appliquée. La période maximale de préarc mesurée doit être utilisée comme la période de préarc à appliquer dans la partie 2 (voir 5.2.3.3).

##### **5.2.3.2.3 Essais triphasés**

Pour chacune des phases dans un circuit triphasé, au moins un essai d'établissement qui permet d'évaluer la période de préarc doit aboutir à un instant d'injection de courant qui correspond à un angle de  $-15^\circ$  à  $+15^\circ$  sur la crête de la forme d'onde de tension alternative appliquée. La période de préarc doit être mesurée dans les trois phases lors de chaque essai.

Les périodes maximales de préarc mesurées, qui correspondent à l'essai qui donne la période de préarc la plus longue dans chaque phase, doivent être utilisées comme les périodes de préarc à appliquer dans la partie 2 (voir 5.2.3.3).

Si un circuit de tension monophasé est utilisé, la période de préarc doit être mesurée dans les trois phases, sur la base de l'hypothèse selon laquelle l'injection du courant se produit simultanément dans les trois phases.

#### **5.2.3.3 Partie 2: essai d'établissement du courant de court-circuit à tension réduite**

Pendant l'essai d'établissement de courant avec le pouvoir d'établissement assigné en court-circuit à tension réduite, la période de préarc doit être au moins égale à la période de préarc déterminée lors des essais décrits dans la partie 1 (voir 5.2.3.2).

Pour déterminer la période de préarc maximale exigée, il est possible d'effectuer l'injection du courant par une source de tension de toute forme d'onde, suffisamment élevée pour amorcer le préarc au point adéquat de l'onde, avec application de la période de préarc exigée déterminée dans la partie 1.

Les conditions exigées pour une manœuvre d'établissement correcte restent applicables.

## 7 Essais de type

### 7.102 Généralités

Les paragraphes 7.102 à 7.112 de l'IEC 62271-100:2021 sont également applicables aux essais synthétiques. Cependant, des procédés spéciaux sont nécessaires dans certains cas. Ces cas sont exposés dans les alinéas et paragraphes 7.102 à 7.111 suivants. La numérotation des paragraphes correspond à celle de l'IEC 62271-100:2021.

Les exigences concernant les essais des disjoncteurs sous enveloppe métallique sont indiquées à l'Annexe G.

Les exigences générales pour les disjoncteurs équipés de résistances d'ouverture sont données à l'Annexe J de l'IEC 62271-100:2021. Une méthode d'essai applicable aux disjoncteurs équipés de résistances d'ouverture est présentée à l'Annexe J.

Les symboles et termes abrégés indiqués dans le Tableau 6 sont utilisés pour spécifier les manœuvres à effectuer.

**Tableau 6 – Symboles et termes abrégés utilisés pour les manœuvres pendant les essais synthétiques**

|                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cd                                                                                                                                                                                                             | Manœuvre de fermeture dans un circuit direct à la tension du circuit de courant qui peut être inférieure à la tension spécifiée au 7.105.1 de l'IEC 62271-100:2021                  |
| (Cd)                                                                                                                                                                                                           | Manœuvre de fermeture comme Cd, qui peut être effectuée à vide                                                                                                                      |
| Cd <sub>asy</sub>                                                                                                                                                                                              | Manœuvre de fermeture avec le pouvoir d'établissement assigné en court-circuit selon 7.105.2 de l'IEC 62271-100:2021 dans un circuit direct aux conditions décrites en Cd           |
| Cs                                                                                                                                                                                                             | Manœuvre de fermeture avec des paramètres spécifiés dans un circuit d'essais synthétiques                                                                                           |
| Cs <sub>sym</sub>                                                                                                                                                                                              | Manœuvre de fermeture avec un courant symétrique égal au pouvoir de coupure assigné en court-circuit, effectuée à la tension appliquée exigée dans un circuit d'essais synthétiques |
| Od                                                                                                                                                                                                             | Manœuvre de coupure à la tension du circuit de courant uniquement et avec le courant de coupure spécifié                                                                            |
| Os                                                                                                                                                                                                             | Manœuvre de coupure avec des paramètres spécifiés dans un circuit d'essais synthétiques                                                                                             |
| <i>t</i>                                                                                                                                                                                                       | Intervalle de temps entre les manœuvres (0,3 s ou 3 min selon le réenclenchement automatique rapide ou la séquence de manœuvre assignée de réenclenchement automatique)             |
| <i>t'</i>                                                                                                                                                                                                      | Intervalle de temps entre les manœuvres (3 min)                                                                                                                                     |
| SP                                                                                                                                                                                                             | Essai monophasé comme cela est défini au 7.108.2 de l'IEC 62271-100:2021                                                                                                            |
| DEF                                                                                                                                                                                                            | Essai de double défaut à la terre comme cela est défini au 7.108.2 de l'IEC 62271-100:2021                                                                                          |
| NOTE Du fait des caractéristiques des essais synthétiques, il peut être difficile de satisfaire aux intervalles de temps spécifiés des séquences de manœuvres assignées. Voir 7.106.1 de l'IEC 62271-100:2021. |                                                                                                                                                                                     |

Pour satisfaire à toutes les exigences, il peut être nécessaire de réaliser plus de manœuvres que spécifié dans la séquence d'essais normale. Dans de tels cas, le disjoncteur peut être remis en état et la séquence d'essais répétée.

#### 7.102.4.2 Essais par éléments séparés

##### 7.102.4.2.1 Généralités

Le paragraphe 7.102.4.2 de l'IEC 62271-100:2021 est applicable, avec l'ajout suivant:

Dans le cas de disjoncteurs sous enveloppe métallique, l'Annexe G donne des informations détaillées concernant des exemples de circuits d'essai et l'Annexe I de l'IEC 62271-100:2021 présente les lignes directrices appropriées pour les essais.

Lorsque l'autre unité est utilisée comme un disjoncteur auxiliaire, elle n'est pas considérée comme un composant de l'objet d'essai. Une défaillance de cette autre unité ne doit donc pas être considérée comme une défaillance de l'objet d'essai.

#### **7.102.4.2.5 Exigences supplémentaires pour les essais par éléments séparés**

Le paragraphe 7.102.4.2.5 de l'IEC 62271-100:2021 est applicable, avec l'ajout suivant:

Afin de vérifier la performance d'isolement des disjoncteurs sous enveloppe métallique, entre les parties actives et les enveloppes, un essai supplémentaire doit être réalisé, dans les conditions suivantes:

- le courant de court-circuit assigné est coupé par toutes les unités dans la condition de durée d'arc maximale;
- la tension correspondante est appliquée entre la borne d'arrivée et la cuve pour les deux séquences T100s et T100a.

Une seule manœuvre de coupure suffit à démontrer cette performance. Le disjoncteur peut être remis en état avant cet essai supplémentaire.

#### **7.102.4.3 Essais en plusieurs parties**

Les manœuvres d'ouverture de disjoncteurs avec résistances de fermeture n'exigent pas de techniques d'essais particulières, étant donné que la résistance de fermeture n'influence pas le circuit d'essai.

Les résistances de fermeture ne peuvent être soumises à l'essai que dans un circuit direct qui fournit les contraintes correctes de courant et de tension à partir d'une source unique de puissance.

Au cours des essais synthétiques de fermeture, il est nécessaire de retirer la résistance de fermeture, afin d'obtenir les contraintes correctes de courant de court-circuit et les conditions de préarc dans l'interrupteur principal.

Si toutes les exigences de la TTR et/ou de la tension de rétablissement ne peuvent pas être satisfaites simultanément, les essais en plusieurs parties peuvent être utilisés en tenant compte du 7.102.4.3 de l'IEC 62271-100:2021.

Lorsqu'un essai en plusieurs parties est réalisé dans le seul but de vérifier la tension de rétablissement, il n'est pas nécessaire d'établir de nouveau la durée minimale d'arc.

#### **7.102.7 Mécanismes d'entraînement alternatifs**

Dans le cas d'un disjoncteur tripolaire dans une seule enveloppe d'un PSEM (poste électrique sous enveloppe métallique), les essais doivent être effectués dans un circuit d'essai triphasé et la TTR des circuits d'essais synthétiques appliquée sur les trois phases. La séquence d'essais T100s peut être effectuée sur le mécanisme d'entraînement alternatif à l'aide des méthodes définies à l'Annexe D (courants triphasés avec un circuit d'essais synthétiques). L'interaction entre les phases pendant la coupure a déjà été démontrée lors de la séquence T100s sur le disjoncteur entièrement soumis à l'essai. Les méthodes d'essai définies à l'Annexe D permettent de vérifier de manière adéquate la capacité du disjoncteur à effectuer la séquence d'essais avec des courants présents dans les trois phases, les durées d'arc correctes et les TTR correspondant aux différents pôles qui coupent.

### **7.104 Démonstration des durées d'arc**

#### **7.104.1 Généralités**

Les exigences fondamentales à satisfaire sont données au 7.104 de l'IEC 62271-100:2021.

Pour pouvoir réaliser les essais synthétiques sur la même base que les essais directs, il est en principe nécessaire d'utiliser les méthodes spéciales de réallumage pour prolonger l'arc du disjoncteur en essai pendant le nombre nécessaire de zéros du courant à fréquence industrielle. Voir l'Annexe H pour les méthodes de réallumage qui permettent la prolongation de l'arc.

La méthode "pas à pas" décrite à l'Annexe H est celle utilisée dans la plupart des essais synthétiques. Elle est considérée comme une approximation suffisamment proche de la procédure d'essai direct.

La durée d'arc est prolongée par capacités de coupure thermiques. Étant donné que cette méthode permet de contraindre le disjoncteur en essai à se réallumer en toutes circonstances, il faut veiller à ne pas réallumer le disjoncteur à un zéro de courant auquel il peut interrompre. À cet effet, il est nécessaire de déterminer pour chaque séquence d'essais de défaut aux bornes, de défaut proche en ligne et de discordance de phases, la durée minimale d'arc du disjoncteur. Au moins deux essais de coupure, une coupure et un réallumage, sont nécessaires à cette détermination.

La coupure à la durée minimale d'arc est la première manœuvre de coupure valable. L'autre essai est réalisé pour démontrer qu'un réallumage à un zéro de courant prématuré se produit entre les contacts d'arc. Cet essai de réallumage doit être effectué en plus de la séquence d'essais décrite dans le Tableau 7 et ne doit pas être le dernier de toute séquence d'essais.

Les essais supplémentaires nécessaires pour démontrer le comportement correct aux zéros de courant prématurés ne contribuent généralement que dans une faible mesure à l'usure des contacts, etc., étant donné les courtes durées d'arc. Par conséquent, il convient de ne pas nécessairement remettre en état l'appareil du fait de ces essais. Le ou les réallumages obtenus durant la détermination de la durée minimale d'arc n'indiquent pas une défaillance du disjoncteur. Cependant, il est important de vérifier que ce réallumage s'est produit entre les contacts d'arc uniquement. Lorsqu'une méthode par injection de courant est utilisée, la coupure du courant injecté quelques alternances après le réallumage est souvent un moyen utile d'appréciation. Il convient aussi d'effectuer l'examen détaillé des écrans, des contacts d'arc et des contacts principaux, etc., pour vérifier que le comportement est correct.

La capacité correcte de coupure est de préférence vérifiée au début de la séquence d'essais lors de la détermination de la durée minimale d'arc. Si, pour une raison quelconque, cet essai n'est pas effectué au début d'une séquence d'essais, il peut être accepté, à condition qu'au moins une manœuvre ait abouti à une coupure après cet essai. Cette disposition permet de démontrer que le réallumage n'a endommagé aucune partie du disjoncteur.

Lors de l'exécution des manœuvres Od-t-COs, la première manœuvre d'ouverture est effectuée dans un circuit d'essai direct. Cette première manœuvre d'ouverture doit représenter la durée minimale d'arc obtenue pour les manœuvres simples d'ouverture. Lorsque la durée d'arc de cette première manœuvre d'ouverture est plus longue que celle exigée, l'essai est considéré comme plus sévère. Pour les manœuvres Od, une tolérance de  $\pm 2$  ms sur la durée d'arc s'applique.

La durée minimale de coupure pour la séquence d'essais T100a est validée par la durée minimale d'arc d'une coupure après une grande alternance avec une asymétrie intermédiaire.

#### 7.104.2 Essais triphasés

Selon le circuit d'essai utilisé, les procédures d'essais données ici peuvent ne pas couvrir les conditions du troisième pôle qui coupe pour  $k_{pp} = 1,3$ . Pour ce cas, les mêmes procédures peuvent être appliquées, avec l'accord du constructeur, en combinant les paramètres de TTR et de  $di/dt$  pour le deuxième pôle qui coupe et la durée d'arc qui correspond au troisième pôle qui coupe. En variante, un essai supplémentaire peut être réalisé avec la TTR,  $di/dt$  et la durée maximale d'arc qui correspond au troisième pôle qui coupe.

Pour les autres procédures d'essais des disjoncteurs sous enveloppes multiples avec des caractéristiques de mécanisme d'entraînement qui exigent un courant triphasé, voir l'Annexe D.

#### 7.104.2.1. Séquences d'essais T10, T30, T60, T100s, T100s(b)

La procédure d'essai est la suivante:

Pour la commodité des essais, le pôle de la phase A est maintenu comme le premier pôle qui coupe.

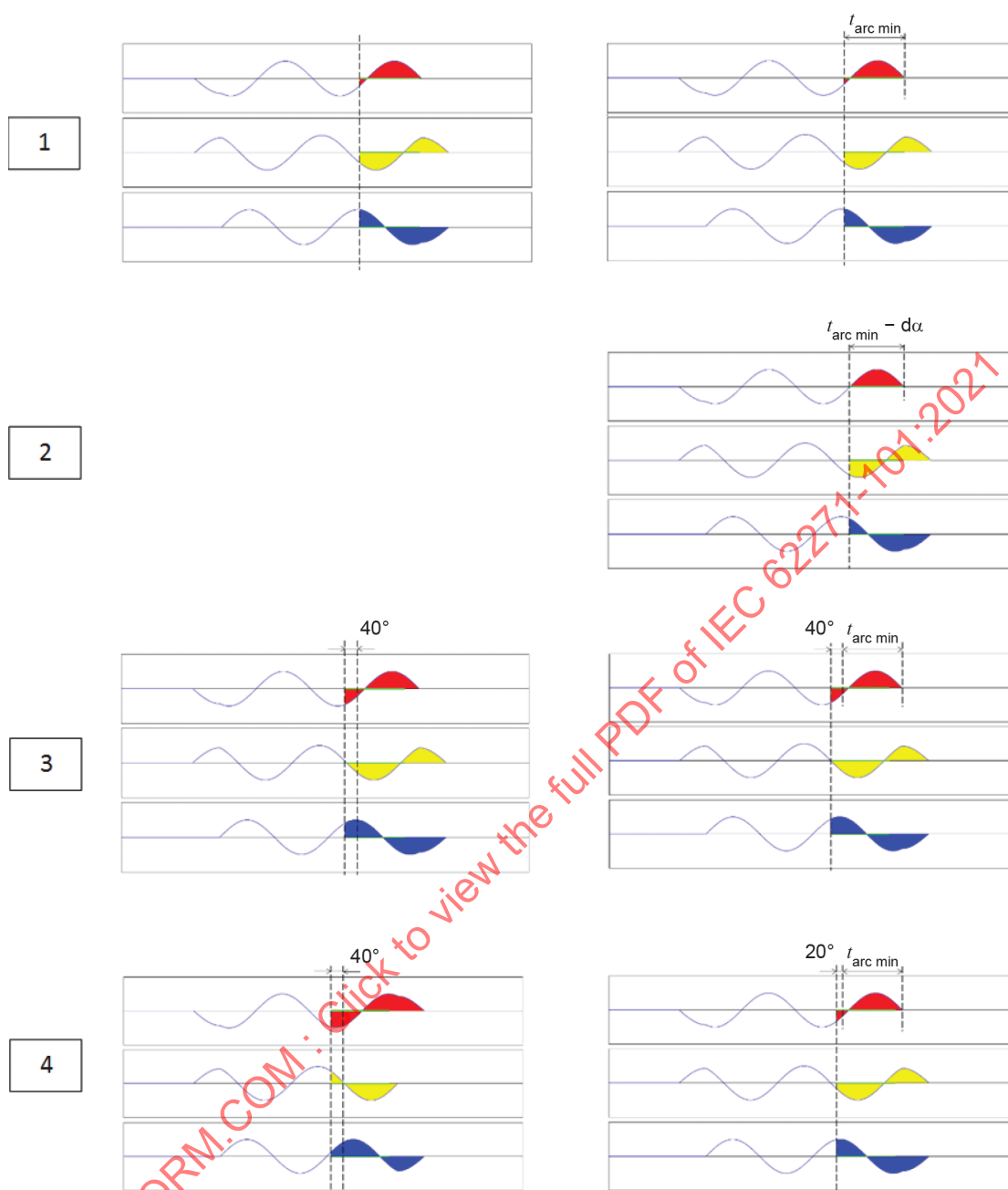
Premièrement, la durée minimale d'arc et la capacité de coupure correcte sont établies. Cette opération est réalisée par modification du réglage de l'ordre d'ouverture par pas de 18° (il est possible que cette opération doive être répétée plusieurs fois). Après cette opération, le réglage de la commande de l'ordre d'ouverture doit être avancé d'environ 40°, en commençant par la durée d'arc la plus courte avec laquelle le disjoncteur a coupé. Pour le dernier essai, le réglage de la commande de l'ordre d'ouverture doit être avancé d'environ 20°, en commençant par la durée d'arc la plus courte avec laquelle le disjoncteur a coupé:

- première manœuvre de coupure valable:  $t_{\text{arc min}}$ , durée minimale d'arc en phase A;
- essai de réallumage:  $t_{\text{arc reig}} = t_{\text{arc min}} - 18^\circ$ , réallumage en phase A;
- deuxième manœuvre de coupure valable:  $t_{\text{arc max}} = t_{\text{arc min}} + 40^\circ$ , durée maximale d'arc en phase A;
- troisième manœuvre de coupure valable:  $t_{\text{arc med}} = t_{\text{arc min}} + 20^\circ$ , durée moyenne d'arc en phase A.

La première manœuvre de coupure valable et l'essai de réallumage se composent de manœuvres simples d'ouverture. L'ordre de la première manœuvre de coupure valable et de l'essai de réallumage peut être interverti.

L'ordre des deuxième et troisième manœuvres de coupures valables peut être interverti et ces manœuvres sont effectuées comme partie intégrante de la séquence de manœuvre assignée.

À titre de comparaison avec les réglages de durée d'arc utilisés dans les essais directs triphasés, voir la Figure 11 et la Figure 12.

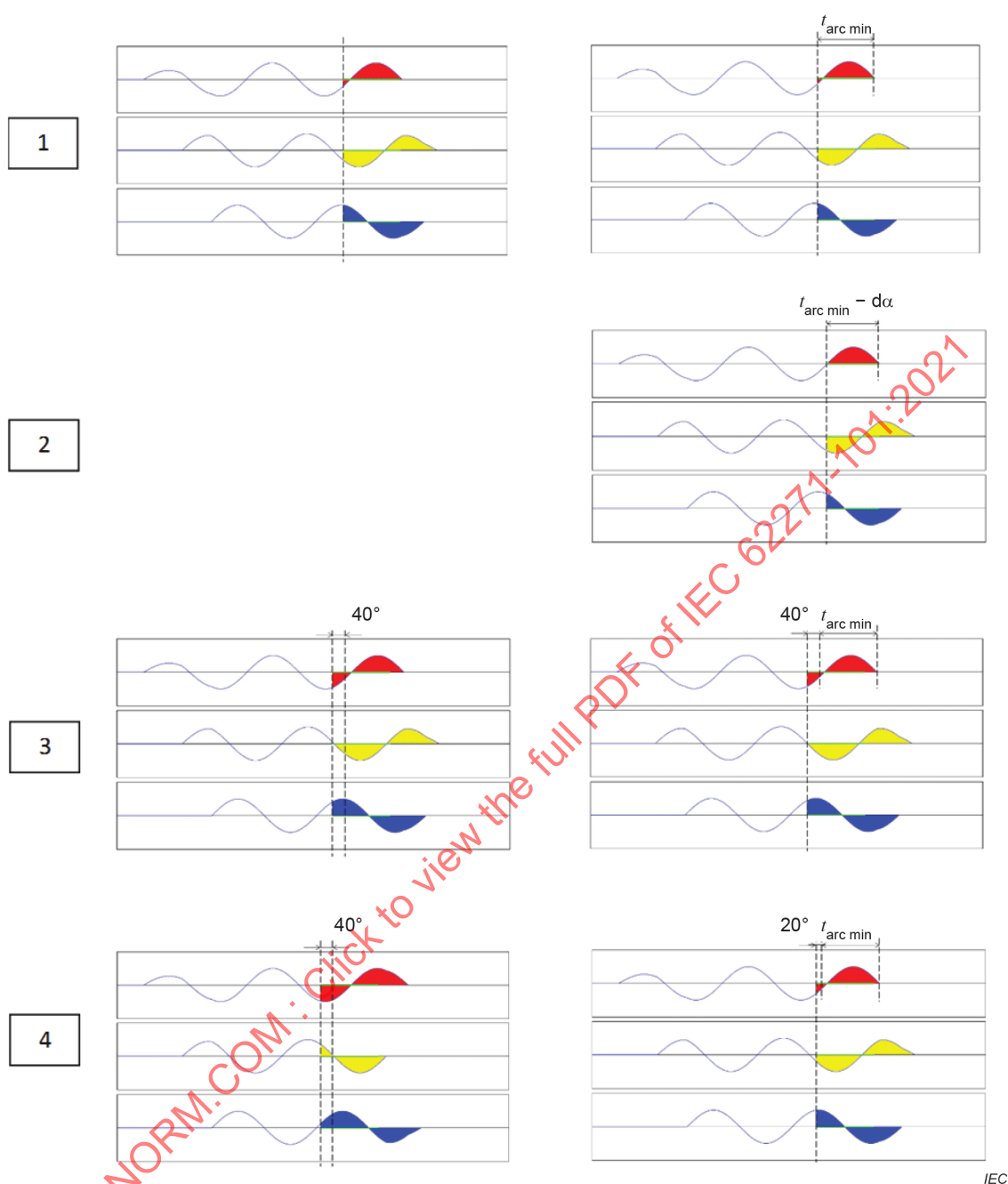


IEC

#### Légende

- |   |                                                                                    |                                                                                   |
|---|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | premier essai                                                                      | premier essai, $t_{arc \ min}$                                                    |
| 2 |                                                                                    | deuxième essai, $t_{arc \ min} - d\alpha$ , qui donne lieu au réallumage          |
| 3 | deuxième essai, ordre d'ouverture $40^\circ$ en avance, relatif au premier essai   | troisième essai, ordre d'ouverture $40^\circ$ en avance, relatif au premier essai |
| 4 | troisième essai, ordre d'ouverture $40^\circ$ en avance, relatif au deuxième essai | quatrième essai, ordre d'ouverture $20^\circ$ en avance, relatif au premier essai |

**Figure 11 – Comparaison des réglages de la durée d'arc pendant les essais directs triphasés (gauche) et les essais synthétiques triphasés (droite) pour T100s avec  $k_{pp} = 1,5$**



## Légende

- |   |                                                                             |                                                                               |
|---|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | premier essai                                                               | premier essai, $t_{\text{arc min}}$                                           |
| 2 |                                                                             | deuxième essai, $t_{\text{arc min}} - d\alpha$ , qui donne lieu au réallumage |
| 3 | deuxième essai, ordre d'ouverture 40° en avance, relatif au premier essai   | troisième essai, ordre d'ouverture 40° en avance, relatif au premier essai    |
| 4 | troisième essai, ordre d'ouverture 40° en avance, relatif au deuxième essai | quatrième essai, ordre d'ouverture 20° en avance, relatif au premier essai    |

**Figure 12 – Comparaison des réglages de la durée d'arc pendant les essais directs triphasés (gauche) et les essais synthétiques triphasés (droite) pour T100s avec  $k_{pp} = 1,3$**

### 7.104.2.2 Séquence d'essais T100a

Cette séquence d'essais a pour objet de démontrer dans une série d'essais de coupure les exigences a) et b) telles que définies au 7.104.2.2 de l'IEC 62271-100:2021:

- condition a) dans laquelle l'extinction de l'arc se produit dans le premier pôle qui coupe à la fin d'une grande alternance dans la première phase avec les critères d'asymétrie exigés et avec la plus longue durée d'arc possible  $t_{arc1}$ ;
- condition b) dans laquelle l'extinction de l'arc se produit à la fin d'une grande alternance rallongée dans le dernier pôle qui coupe ou le deuxième pôle qui coupe avec les critères d'asymétrie exigés et avec la plus longue durée d'arc possible,  $t_{arc2}$  et  $t_{arc3}$  comme suit:
  - la plus longue durée d'arc possible  $t_{arc2}$  s'applique au dernier pôle qui coupe pour des disjoncteurs à la valeur assignée  $k_{pp} = 1,5$ ;
  - la plus longue durée d'arc possible  $t_{arc3}$  s'applique au dernier pôle qui coupe pour des disjoncteurs à la valeur assignée  $k_{pp} = 1,5$ .

La procédure d'essai relative aux essais triphasés est la suivante:

Afin de simplifier la procédure d'essai, le pôle en phase A est maintenu comme le premier pôle qui coupe. En conséquence, le pôle en phase C est soumis à une usure électrique accrue. Afin d'obtenir une usure électrique similaire sur les pôles des phases B et C, l'essai peut être réalisé par un échange des pôles des phases B et C pour la deuxième manœuvre de coupure.

Premièrement, la durée minimale d'arc  $t_{arc\ min}$  (Figure 10 et Figure 11, premier essai) et la capacité de coupure (Figure 10 et Figure 11, deuxième essai) doivent être démontrées en présence d'une asymétrie intermédiaire en phase A (Tableau E.12 à Tableau E.17, colonnes 7, 8 et 9), avec la grande alternance rallongée qui se produit en phase C. Cette démonstration est réalisée par modification du réglage de l'ordre d'ouverture par pas de  $d\alpha = 18^\circ$  jusqu'à ce que la durée minimale d'arc soit établie.

Avant la manœuvre suivante, l'initiation du courant de court-circuit doit être avancée de  $60^\circ$  lorsque l'asymétrie exigée est transposée en phase A (Figure 10 et Figure 11, troisième essai). L'extinction de l'arc doit se produire en phase A, le premier pôle qui coupe à la fin d'une grande alternance avec les critères d'asymétrie exigés et avec la durée maximale d'arc démontrant la condition a) susmentionnée.

La durée maximale d'arc  $t_{arc1}$  pour le premier pôle qui coupe est atteinte lorsque la condition suivante est satisfaite:

$$t_{arc1} = t_{arc\ min} + \Delta t_{a1} - T \times d\alpha/360^\circ$$

Lors de la manœuvre suivante, l'injection du courant de court-circuit doit être retardée de  $60^\circ$ . En conséquence, l'asymétrie exigée est transposée en phase C. L'extinction de l'arc doit se produire en phase C à la fin d'une grande alternance rallongée avec les critères d'asymétrie exigée et avec la durée maximale d'arc démontrant la condition b) susmentionnée:

- la durée maximale d'arc  $t_{arc2}$  pour le dernier pôle qui coupe pour des disjoncteurs à la valeur assignée  $k_{pp} = 1,5$  (Figure 10, quatrième essai) est atteinte lorsque la condition suivante est satisfaite:

$$t_{arc2} = t_{arc\ min} + \Delta t_{a2} - T \times d\alpha/360^\circ$$

- la durée maximale d'arc  $t_{\text{arc}3}$  pour le deuxième pôle qui coupe pour des disjoncteurs à la valeur assignée  $k_{\text{pp}} = 1,3$  ou  $k_{\text{pp}} = 1,2$  (Figure 11, quatrième essai) est atteinte lorsque la condition suivante est satisfaite:

$$t_{\text{arc}3} = t_{\text{arc min}} + \Delta t_{\text{a}3} - T \times d\alpha/360^\circ$$

où

$\Delta t_{\text{a}1}$ ,  $\Delta t_{\text{a}2}$ ,  $\Delta t_{\text{a}3}$  sont les paramètres pertinents de temps à choisir du Tableau E.12 au Tableau E.17.

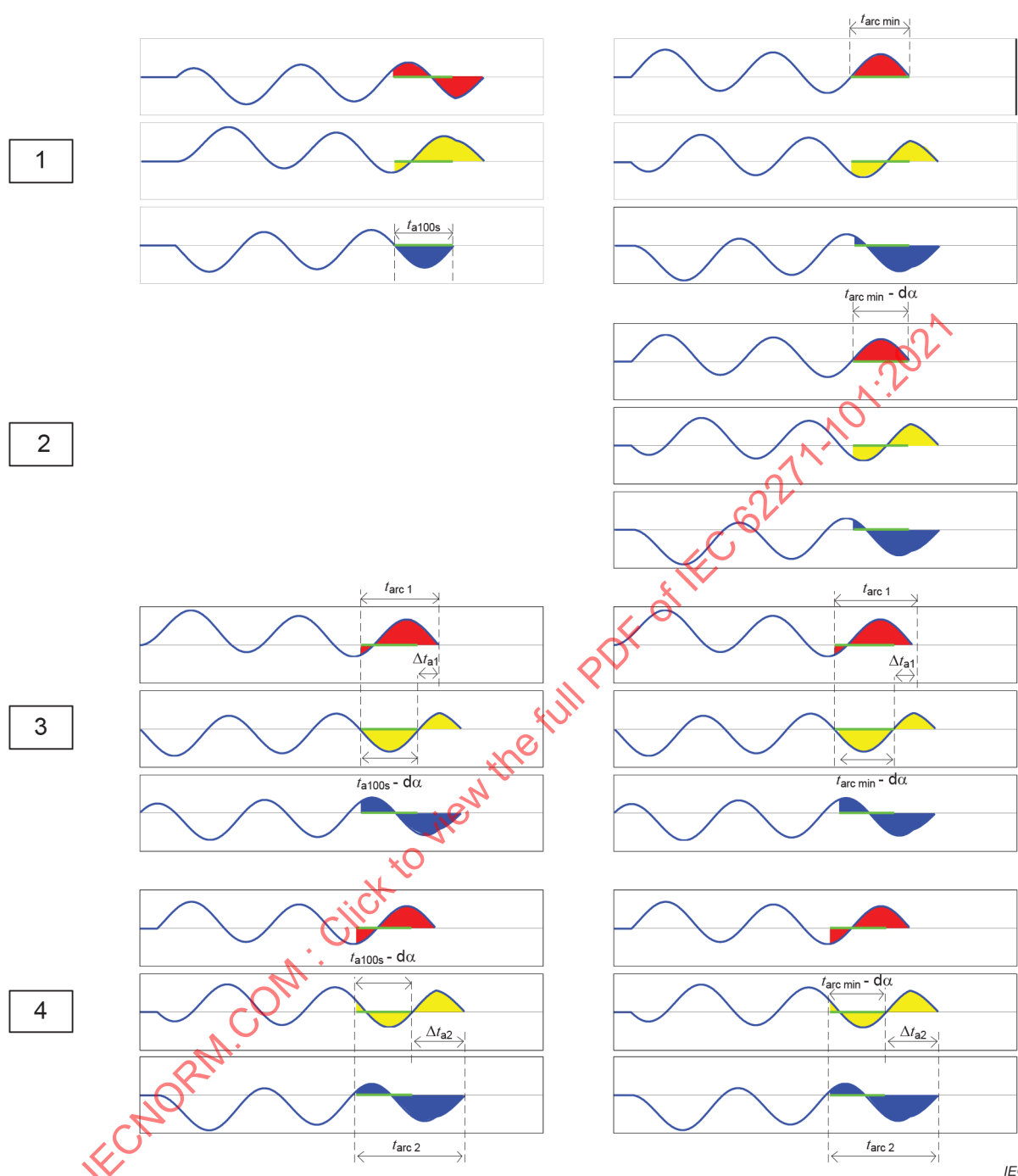
L'ordre des deux dernières manœuvres de coupure peut être interverti.

Certains disjoncteurs ne coupent pas à l'issue d'une grande alternance après la durée d'arc exigée. Toutefois, cet essai est valable si le disjoncteur coupe la petite alternance suivante, qui devient le dernier pôle qui coupe. Les paramètres correspondants pour le dernier pôle qui coupe en condition symétrique doivent être appliqués.

À titre de comparaison avec les réglages de durée d'arc utilisés dans les essais directs triphasés, voir la Figure 10 et la Figure 11.

NOTE La dernière manœuvre de coupure exigée au 7.104.2.2 de l'IEC 62271-100:2021 est couverte par les essais pour démontrer la durée minimale d'arc.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-101:2021

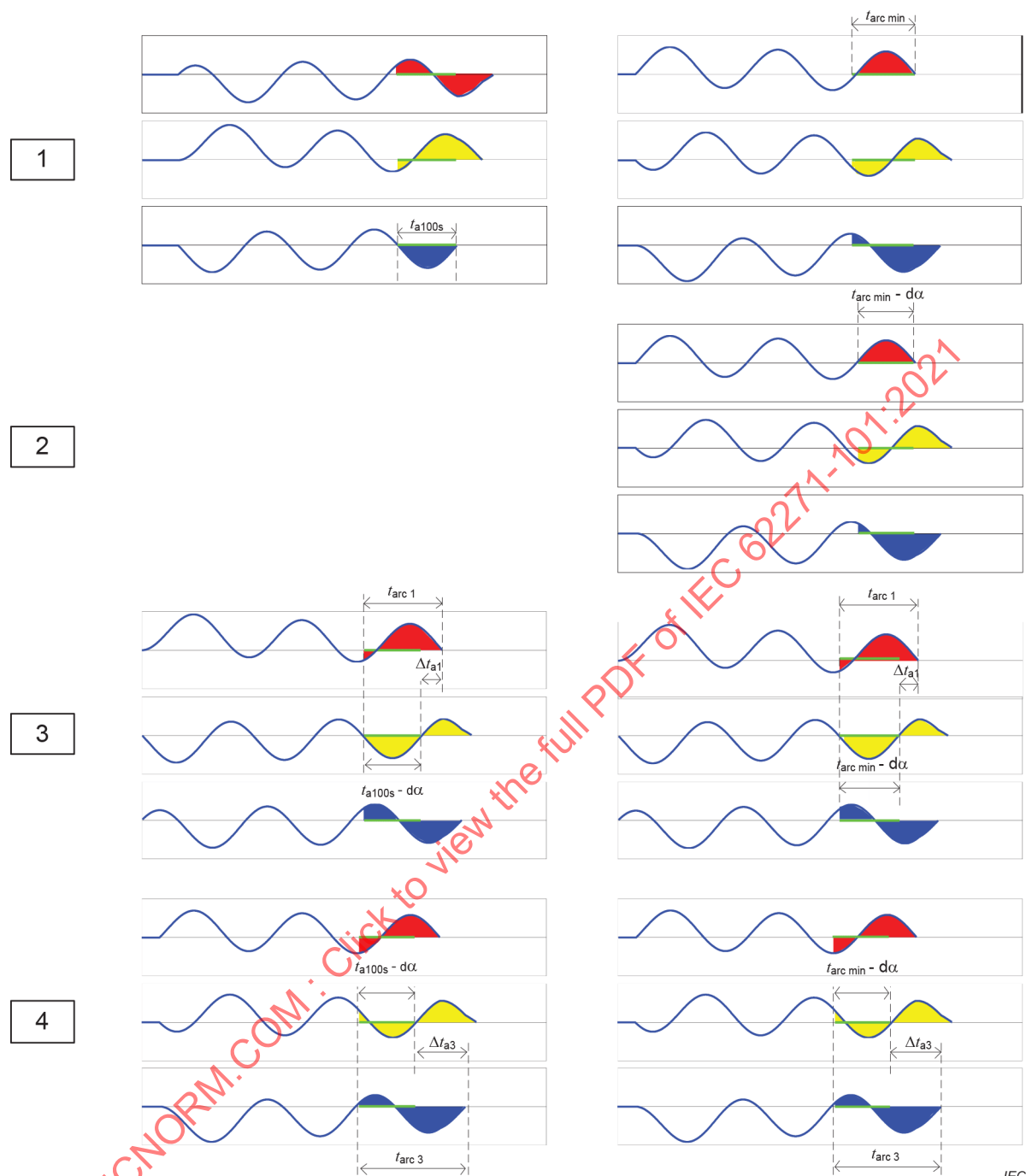


IEC

### Légende

- |   |                                                                                           |                                                                                           |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | premier essai                                                                             | premier essai, $t_{\text{arc min}}$                                                       |
| 2 |                                                                                           | deuxième essai, $t_{\text{arc min}} - d\alpha$ , qui donne lieu au rallumage              |
| 3 | deuxième essai, condition a) premier pôle qui coupe après la grande alternance            | troisième essai, condition a) premier pôle qui coupe après la grande alternance           |
| 4 | troisième essai, condition b) dernier pôle qui coupe après la grande alternance rallongée | quatrième essai, condition b) dernier pôle qui coupe après la grande alternance rallongée |

**Figure 13 – Comparaison des réglages de la durée d’arc pendant les essais directs triphasés (gauche) et les essais synthétiques triphasés (droite) pour T100a avec  $k_{pp} = 1,5$**



IEC

**Légende**

1 premier essai

2

3 deuxième essai, condition a) premier pôle qui coupe après la grande alternance

4 troisième essai, condition b) deuxième pôle qui coupe après la grande alternance rallongée

premier essai,  $t_{arc\ min}$ deuxième essai,  $t_{arc\ min} - d\alpha$ , qui donne lieu au réallumage

troisième essai, condition a) premier pôle qui coupe après la grande alternance

quatrième essai, condition b) deuxième pôle qui coupe après la grande alternance rallongée

**Figure 14 – Comparaison des réglages de la durée d'arc pendant les essais directs triphasés (gauche) et les essais synthétiques triphasés (droite) pour T100a avec  $k_{pp} = 1,3$**

### 7.104.3 Essais monophasés en remplacement des conditions triphasées, des essais en discordance de phases et des essais de défaut proche en ligne

#### 7.104.3.1 Généralités

Les procédures décrites au 7.104.3 de l'IEC 62271-100:2021 s'appliquent avec les modifications suivantes. Ces procédures sont destinées à démontrer les conditions du premier pôle qui coupe, du deuxième pôle qui coupe et du troisième pôle qui coupe, avec les paramètres de courant et de tension applicables pour le premier pôle qui coupe.

#### 7.104.3.2 Séquences d'essais T10, T30, T60, T100s et T100s(b), OP1 et OP2, L90, L75 et L60

Les procédures décrites au 7.104.3.2 de l'IEC 62271-100:2021 s'appliquent avec l'ajout suivant.

La durée minimale d'arc  $t_{\text{arc min}}$  et la capacité de coupure doivent être démontrées. Cette opération est réalisée par modification du réglage de l'ordre d'ouverture par pas de 18° jusqu'à ce que la durée minimale d'arc soit établie.

#### 7.104.3.3 Séquence d'essais T100a

La procédure d'essai est la suivante:

La durée minimale d'arc  $t_{\text{arc min}}$  et la capacité de coupure doivent être démontrées avec la grande alternance à une asymétrie intermédiaire (Tableau E.12 à Tableau E.17, colonnes 7 et 8). Cette opération est réalisée par modification du réglage de l'ordre d'ouverture par pas de 18° jusqu'à ce que la durée minimale d'arc soit établie.

Ensuite, deux manœuvres de coupure à l'asymétrie exigée doivent être effectuées comme cela est décrit ci-dessous. Les Tableaux Tableau E.12 à Tableau E.17, colonnes 3 et 4, donnent les valeurs exigées de la crête du courant de court-circuit et de la durée de l'alternance qui doivent être atteintes dans la dernière alternance avant la coupure.

Une manœuvre de coupure doit démontrer la coupure à la fin de la grande alternance avec une durée d'arc équivalente à la durée maximale d'arc dans les conditions en triphasé  $t_{\text{arc1}}$  du premier pôle qui coupe, ce qui correspond à la durée d'arc  $t_{\text{arc1}}$  du 7.104.3.3 de l'IEC 62271-100:2021.

La durée maximale d'arc  $t_{\text{arc1}}$  pour le premier pôle qui coupe est atteinte lorsque la condition suivante est satisfaite:

$$t_{\text{arc1}} = t_{\text{arc min}} + \Delta t_{a1} - T \times da/360^\circ$$

Une autre manœuvre de coupure doit démontrer la coupure à la fin de la grande alternance avec une durée d'arc équivalente à la durée maximale d'arc dans les conditions en triphasé, ce qui correspond à la durée d'arc  $t_{\text{arc2}}$  ou  $t_{\text{arc3}}$  du 7.104.3.3 de l'IEC 62271-100:2021.

- La durée maximale d'arc  $t_{\text{arc2}}$  pour le dernier pôle qui coupe pour des disjoncteurs à la valeur assignée  $k_{pp}=1,5$  est atteinte lorsque la condition suivante est satisfaite:

$$t_{\text{arc2}} = t_{\text{arc min}} + \Delta t_{a2} - T \times da/360^\circ$$

- La durée maximale d'arc  $t_{\text{arc}3}$  pour le deuxième pôle qui coupe pour des disjoncteurs à la valeur assignée  $k_{\text{pp}} = 1,3$  ou  $k_{\text{pp}} = 1,2$  est atteinte lorsque la condition suivante est satisfaite:

$$t_{\text{arc}3} = t_{\text{arc min}} + \Delta t_{\text{a}3} - T \times \alpha / 360^\circ$$

où

$\Delta t_{\text{a}1}$ ,  $\Delta t_{\text{a}2}$ ,  $\Delta t_{\text{a}3}$  sont les paramètres pertinents de durées à choisir du Tableau E.12 au Tableau E.17.

L'ordre des deux dernières manœuvres de coupure peut être interverti.

Étant donné que certains disjoncteurs ne coupent pas à l'issue d'une grande alternance, un essai est encore valable si le disjoncteur coupe après la petite alternance suivante.

NOTE La dernière coupure exigée au 7.104.3.3 de l'IEC 62271-100:2021 est considérée comme couverte par les essais pour démontrer la durée minimale d'arc.

### 7.104.3.5 Séparation des séquences d'essais en séries d'essais compte tenu de la TTR associée à chaque pôle qui coupe

Les exigences décrites au 7.104.3.5 de l'IEC 62271-100:2021 sont applicables et la procédure d'essai pour les essais synthétiques est donnée à l'Annexe E.

#### 7.104.3.101 Procédure modifiée pour le cas de disjoncteurs qui ne coupent pas pendant un essai avec une durée moyenne et/ou maximale d'arc, pendant des essais de coupure avec un courant symétrique

Si le disjoncteur n'a pas coupé au passage par zéro de courant prévu, lors d'une manœuvre de coupure avec un courant symétrique, pour une durée moyenne et/ou maximale d'arc, il est alors nécessaire de réaliser une manœuvre de coupure supplémentaire pour chaque durée d'arc respective.

La manœuvre de coupure pour la durée moyenne d'arc doit démontrer la coupure avec:

$$t_{\text{arc med}} + T \times (150^\circ / 360^\circ), \text{ si } k_{\text{pp}} = 1,5$$

$$t_{\text{arc med}} + T \times (180^\circ / 360^\circ), \text{ si } k_{\text{pp}} = 1,3, 1,2 \text{ ou } 1,0$$

où

$t_{\text{arc med}}$  est la durée moyenne d'arc à laquelle le disjoncteur n'a pas coupé.

La manœuvre de coupure pour la durée maximale d'arc doit démontrer la coupure avec:

$$t_{\text{arc max}} + T \times (180^\circ / 360^\circ)$$

où

$t_{\text{arc max}}$  est la durée maximale d'arc à laquelle le disjoncteur n'a pas coupé.

Si le disjoncteur ne coupe pas lors d'une de ces manœuvres de coupure supplémentaires, il est admissible d'effectuer des travaux d'entretien sur le disjoncteur selon 7.102.9.6 de l'IEC 62271-100:2021, et de répéter la séquence d'essais pour laquelle la manœuvre de coupure avec la durée moyenne et/ou maximale d'arc est remplacée par la manœuvre de coupure avec la durée d'arc définie ci-dessus.

L'essai supplémentaire est effectué avec la même manœuvre lorsque le disjoncteur n'a pas coupé (par exemple, (Cd)Os, Od et CdOs, etc.).

#### **7.105.5.4 Séquence d'essais T30**

Pour les tensions assignées inférieures ou égales à 72,5 kV, il peut être difficile de satisfaire aux petites valeurs de  $t_3$ . Il convient d'utiliser la plus petite durée qui peut être obtenue, voir 7.105.5.4 de l'IEC 62271-100:2021. Les valeurs utilisées doivent être indiquées dans le rapport d'essai.

#### **7.105.5.5 Séquence d'essais T10**

Pour les tensions assignées inférieures ou égales à 72,5 kV, il peut être difficile de satisfaire aux petites valeurs de  $t_3$ . Il convient d'utiliser la plus petite durée qui peut être obtenue, voir 7.105.5.5 de l'IEC 62271-100:2021. Les valeurs utilisées doivent être indiquées dans le rapport d'essai.

### **7.107 Essais de défaut aux bornes**

#### **7.107.1 Généralités**

Les exigences fondamentales sont données au 7.107.1 de l'IEC 62271-100:2021. Les méthodes d'essais synthétiques sont données dans le Tableau 7.

NOTE Du fait des caractéristiques des essais synthétiques, il peut être difficile de satisfaire aux intervalles de temps spécifiés des séquences de manœuvres assignées. Voir 7.106.1 de l'IEC 62271-100:2021.

Pour satisfaire à toutes les exigences d'essai, il peut être utile de réaliser plus de manœuvres que celles spécifiées dans la séquence d'essais normale. Dans de tels cas, le disjoncteur peut être remis en état et la séquence d'essais répétée.

**Tableau 7 – Méthodes d'essais synthétiques pour les séquences d'essais T10, T30, T60, T100s, T100a, SP, DEF, OP et SLF**

| Séquence d'essais | Essai synthétique                                                                                                |         | Séquence de manœuvres                                                  |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------|
|                   | Paragraphe                                                                                                       | Méthode |                                                                        |
| T10, T30 et T60   | 7.107.2 à 7.107.4                                                                                                | 1       | $Os - t - (Cd)Os - t' - (Cd)Os^a$                                      |
|                   |                                                                                                                  | 2       | $Os$<br>$Od - t - (Cd)Os - t' - (Cd)Os^{a, e}$                         |
| T100s             | 7.107.5.2<br>constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai égale à la valeur spécifiée      | 3       | $Os - t - CsOs - t' - CsOs^f$                                          |
|                   |                                                                                                                  | 4       | $Os$<br>$Od - t - Cs_{sym}Os - t' - Cd_{asy}Os^e$                      |
|                   |                                                                                                                  | 5       | $Cs_{sym}$<br>$Os$<br>$Od - t - CdOs - t' - CdOs^{d, e}$               |
|                   | 7.107.5.3<br>constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai inférieure à la valeur spécifiée | 6       | $Cd_{asy}$<br>$Os$<br>$Od - t - Cs_{sym}Os - t' - CdOs^{b, e}$         |
|                   |                                                                                                                  | 7       | $Cd_{asy}$<br>$Cs_{sym}$<br>$Os$<br>$Od - t - CdOs - t' - CdOs^{b, e}$ |
|                   | 7.107.5.4<br>constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai supérieure à la valeur spécifiée | 4       | $Os$<br>$Od - t - Cs_{sym}Os - t' - Cd_{asy}Os^{c, e}$                 |
|                   |                                                                                                                  | 5       | $Cs_{sym}$<br>$Os$<br>$Od - t - CdOs - t' - CdOs^{c, d, e}$            |
|                   |                                                                                                                  | 7       | $Cd_{asy}$<br>$Cs_{sym}$<br>$Os$<br>$Od - t - CdOs - t' - CdOs^{c, e}$ |
| T100a             | 7.107.6                                                                                                          |         | $Os - t' - Os - t' - Os$                                               |
| SP et DEF         | 7.108.2                                                                                                          |         | $Os$                                                                   |
| SLF               | 7.109                                                                                                            | 1       | $Os - t - (Cd)Os - t' - (Cd)Os^a$                                      |
|                   |                                                                                                                  | 2       | $Os$<br>$Od - t - (Cd)Os - t' - (Cd)Os^{a, e}$                         |
| OP1               | 7.110                                                                                                            |         | $Os, Os, Os$                                                           |
| OP2               | 7.110                                                                                                            | 8       | $Cs_{sym}Os, Os, Os$                                                   |
|                   |                                                                                                                  | 9       | $Cs_{sym}$<br>$(Cd)Os, Os, Os^a$                                       |

<sup>a</sup> (Cd) est une manœuvre de fermeture comme Cd, qui peut être effectuée à vide

<sup>b</sup> Du fait que la constante de temps de la composante continue du circuit d'essai est plus faible que la valeur spécifiée utilisée pour le pouvoir de coupure assigné en court-circuit, il est nécessaire que la valeur symétrique du courant pendant  $Cd_{asy}$  soit plus grande que la valeur assignée. De même, pendant Cd, la crête de courant, déjà vérifiée pendant  $Cd_{asy}$  est plus faible que le pouvoir d'établissement assigné en court-circuit.

<sup>c</sup> Étant donné que la constante de temps de la composante continue du circuit d'essai est plus grande que la valeur spécifiée utilisée pour le court-circuit assigné, la valeur de crête du courant pendant la fermeture asymétrique peut être plus grande que le pouvoir d'établissement assigné en court-circuit. Un circuit de réduction du courant de crête peut être utilisé ou la manœuvre de fermeture peut être réalisée en synchronisant l'ordre par rapport à l'onde de tension pour obtenir le pouvoir d'établissement assigné en court-circuit exigé. L'utilisation d'une synchronisation de l'ordre par rapport à l'onde de tension est soumise à l'accord du constructeur.

<sup>d</sup> L'une des deux Cd doit être  $Cd_{asy}$ .

<sup>e</sup> Od a la même condition de durée minimale d'arc que l'Os précédente.

<sup>f</sup> Une Cs satisfait à l'exigence a) et l'autre Cs satisfait à l'exigence b) du 7.105.2.1 de l'IEC 62271-100:2021.

### **7.107.2 Séquence d'essais T10**

L'une des méthodes 1 ou 2 peut être utilisée pour réaliser la séquence de manœuvre assignée en synthétique avec les paramètres spécifiés (voir Tableau 7).

### **7.107.3 Séquence d'essais T30**

L'une des méthodes 1 ou 2 peut être utilisée pour réaliser la séquence de manœuvre assignée en synthétique avec les paramètres spécifiés (voir Tableau 7).

### **7.107.4 Séquence d'essais T60**

L'une des méthodes 1 ou 2 peut être utilisée pour réaliser la séquence de manœuvre assignée en synthétique avec les paramètres spécifiés (voir Tableau 7).

### **7.107.5 Séquence d'essais T100s**

#### **7.107.5.2 Constante de temps de la composante aperiodique du circuit d'essai égale à la valeur spécifiée**

L'une des méthodes 3, 4 ou 5 peut être utilisée pour réaliser la séquence de manœuvre assignée en synthétique avec les paramètres spécifiés (voir Tableau 7), lorsque la constante de temps du circuit d'essai est égale à la valeur spécifiée associée au pouvoir de coupure assigné en court-circuit défini au 5.101.3 de l'IEC 62271-100:2021.

#### **7.107.5.3 Constante de temps de la composante aperiodique du circuit d'essai inférieure à la valeur spécifiée**

L'une des méthodes 6 ou 7 peut être utilisée pour réaliser la séquence de manœuvre assignée en synthétique avec les paramètres spécifiés (voir Tableau 7), lorsque la constante de temps du circuit d'essai est inférieure à la valeur spécifiée associée au pouvoir de coupure assigné en court-circuit selon 5.101.3 de l'IEC 62271-100:2021.

#### **7.107.5.4 Constante de temps de la composante aperiodique du circuit d'essai supérieure à la valeur spécifiée**

L'une des méthodes 4, 5 ou 7 peut être utilisée pour réaliser la séquence de manœuvre assignée en synthétique avec les paramètres spécifiés (voir Tableau 7), lorsque la constante de temps du circuit d'essai est supérieure à la valeur spécifiée associée au pouvoir de coupure assigné en court-circuit selon 5.101.3 de l'IEC 62271-100:2021.

### **7.107.6 Séquence d'essais T100a**

Trois manœuvres de coupure doivent être réalisées comme cela est spécifié au 7.107.6 de l'IEC 62271-100:2021 (voir Tableau 7).

Pendant les essais avec courant asymétrique, la pente  $di/dt$  et la TTR sont modifiées par la présence de la composante continue. Pour les essais synthétiques, ces modifications doivent être préparées comme suit:

- a) selon la constante de temps aperiodique exigée, les critères d'asymétrie suivants doivent être remplis comme cela est indiqué ci-dessous;

Les valeurs exigées de la crête du courant de court-circuit et de la durée de l'alternance doivent être conformes aux valeurs définies du Tableau E.12 au Tableau E.17.

Les critères pour les valeurs réelles sont donnés en 4.1.2.

Lorsqu'une méthode par injection de tension est utilisée, les critères concernant le rapport  $di/dt$  au zéro de courant peuvent être ignorés.

- b) réduction de  $di/dt$  au zéro de courant;

La réduction de  $di/dt$  peut être obtenue pour les méthodes par injection de courant, en réduisant la tension de charge du circuit de tension.

Les valeurs corrigées correspondantes sont indiquées du Tableau E.12 au Tableau E.17.

c) correction de la TTR;

1) Méthode simplifiée

Pour les TTR dont le temps  $t_2$  ou  $t_3$  ne dépasse pas 500  $\mu\text{s}$ , une méthode simplifiée peut être utilisée. La tension de charge du circuit synthétique doit être fixée pour obtenir les paramètres d'essais les plus contraignants. Voir l'Annexe A pour des recommandations supplémentaires.

2) Pour les TTR dont le temps  $t_2$  dépasse 500  $\mu\text{s}$ , d'autres corrections et/ou des modifications de circuit doivent être appliquées. Pour les valeurs de TTR présumées exigées, voir du Tableau A.1 au Tableau A.6.

Différents circuits d'essais pour différentes conditions d'asymétrie peuvent être nécessaires afin d'obtenir les valeurs exigées. Un essai avec un seul circuit d'essai peut produire des contraintes excessives sur le disjoncteur et exige l'accord du constructeur.

3) Les facteurs  $u_c$  et VATR relatifs au deuxième pôle qui coupe et au dernier pôle qui coupe sont obtenus à partir des valeurs respectives dans des conditions de symétrie réduites par le même facteur que le  $di/dt$  correspondant.

d) correction de la tension de rétablissement;

Lorsqu'un essai représente la coupure à la fin d'une grande alternance, la tension de rétablissement réduite couvre correctement le premier quart de période de la tension de rétablissement (d'un essai direct équivalent).

Pour la coupure à la fin d'une petite alternance de courant, la tension de rétablissement réduite ne couvre pas les conditions du réseau de référence, puisque la tension de rétablissement à fréquence industrielle dans le réseau continue de croître après l'établissement de la TTR.

Avec les séquences d'essais symétriques, les éléments qui permettent de démontrer les caractéristiques du disjoncteur sont suffisants.

e) asymétrie intermédiaire.

La phase qui présente l'asymétrie intermédiaire exigée pour les essais T100a selon 7.104.2.2 et 7.104.3.3 fait référence, dans un réseau triphasé, à la phase dont le zéro de courant se situe juste avant le zéro de courant de la phase qui présente l'asymétrie exigée. Cette phase commence également par une grande alternance de courant, à l'injection du courant. À titre d'exemple, la phase colorée en rouge dans les essais 1 et 2 de la Figure 10 et de la Figure 11 (essai synthétique, partie droite des figures) remplit cette condition d'asymétrie intermédiaire.

Dans cette phase particulière, les grandes alternances sont appelées "grandes alternances intermédiaires".

Les paramètres de la grande alternance intermédiaire peuvent être obtenus à partir des valeurs définies du Tableau E.12 au Tableau E.17.

## 7.108.2 Essais de défaut monophasé ou de double défaut à la terre

Les exigences d'essai fondamentales sont données au 7.108.2 de l'IEC 62271-100:2021. La méthode d'essai est présentée dans le Tableau 7.

## 7.109 Essais de défaut proche en ligne

Les exigences d'essai fondamentales sont données au 7.109 de l'IEC 62271-100:2021.

L'une des méthodes 1 ou 2 peut être utilisée pour réaliser la séquence de manœuvre assignée en synthétique avec les paramètres spécifiés (voir Tableau 7).

Pour les essais synthétiques de défaut proche en ligne (SLF), les paramètres du circuit de défaut proche en ligne doivent être ceux indiqués au 7.109 de l'IEC 62271-100:2021 et le circuit côté ligne doit être inséré dans le circuit de courant pendant la totalité de la durée d'interaction.

Avec des circuits à injection de courant, le circuit de défaut proche en ligne peut être connecté en série avec le circuit de tension, et son inductance est ajoutée à  $L_h$ , comme cela est représenté à la Figure 145 de l'IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018.

Ce circuit de défaut proche en ligne introduit dans le circuit de tension peut engendrer des oscillations qui se superposent à l'onde de courant injecté. Il convient d'amortir ces oscillations (pour être conformes à d) de 4.2.1), de manière à ne pas perturber le courant pendant la durée de variation significative de la tension d'arc ou au moins pendant 100  $\mu$ s avant le zéro de courant.

Une résistance peut être connectée en série avec le circuit de mise en forme de TTR. Dans la plupart des cas, cette résistance, destinée à contrôler la vitesse d'accroissement initiale de la tension de rétablissement, est suffisante pour assurer l'amortissement nécessaire.

NOTE 1 Un soin particulier est apporté à la distribution des tensions et au mesurage des TTR présumées lorsque, pour les essais de défaut proche en ligne, la ligne est connectée du même côté du disjoncteur en essai comme l'impédance du circuit de tension.

Si une capacité additionnelle est utilisée pour ajuster les retards selon 7.109.3 de l'IEC 62271-100:2021, il convient de veiller à l'endroit d'application de cette capacité:

- en utilisant une capacité côté ligne, elle doit être connectée aux bornes de la section ligne du circuit d'essai pour simuler les mêmes conditions que dans les essais directs;
- en utilisant une capacité côté source, elle doit être connectée aux bornes de la section source du circuit de tension.

Une capacité aux bornes du disjoncteur est normalement considérée comme partie intégrante de l'objet d'essai. Dans certains cas, il peut être utile d'appliquer une capacité supplémentaire aux bornes du disjoncteur pour ajuster le retard du circuit d'essai.

NOTE 2 Une capacité aux bornes du disjoncteur auxiliaire influence le retard et est considérée comme partie intégrante de la capacité de retard du circuit d'essai.

Selon 7.109.5 de l'IEC 62271-100:2021, les essais de défaut proche en ligne peuvent également être réalisés avec un circuit à injection de courant fondé sur une tension à fréquence industrielle réduite, avec suppression des dispositions du 7.109.3 de l'IEC 62271-100:2021.

Ces dispositions doivent être satisfaites autant que possible et, pour la tension transitoire de rétablissement, au moins jusqu'à trois fois la durée spécifiée de la première crête du côté ligne.

Pour l'applicabilité de cette méthode, se reporter au 7.109.5 de l'IEC 62271-100:2021.

NOTE 3 Il est reconnu que les exigences de 4.2.1 b) sur l'inductance du circuit de tension s'appliquent au circuit direct équivalent de puissance réduite.

### **7.110 Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases**

Les exigences fondamentales sont données au 7.110 de l'IEC 62271-100:2021.

L'une des méthodes 8 ou 9 peut être utilisée pour réaliser la séquence de manœuvre en synthétique avec les paramètres spécifiés pour OP2 (voir Tableau 7) indépendamment de la période de préarc.

La méthode d'essai pour OP1 est donnée dans le Tableau 7.

Il peut être utile de séparer les essais d'établissement des essais de coupure dans la séquence d'essais OP2. Dans ce cas, la partie constituée de manœuvres d'établissement est appelée OP2(a) et celle constituée de manœuvres de coupure est appelée OP2(b).

## **7.111 Essais au courant capacitif**

### **7.111.1 Généralités**

Les exigences fondamentales sont données au 7.111 de l'IEC 62271-100:2021.

Pour les disjoncteurs sous enveloppe métallique, des circuits d'essai types sont donnés à l'Annexe G et des lignes directrices supplémentaires sont données à l'Annexe I de l'IEC 62271-100:2021.

### **7.111.3 Caractéristiques des circuits d'alimentation**

Lorsque les caractéristiques du circuit d'essai ne satisfont pas aux exigences du 7.111.3 de l'IEC 62271-100:2021, la tension de rétablissement présumée spécifiée au 7.111.10 de l'IEC 62271-100:2021 doit être appliquée.

Les effets d'arrachement du courant, tels que décrits à l'Article I.5, peuvent modifier la tension de rétablissement lors des essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs. Par conséquent, la vérification de la TTR spécifiée n'est effectuée qu'à la durée minimale d'arc.

Un circuit d'essai avec un circuit de courant de 50 Hz peut être utilisé pour démontrer la capacité d'établissement et de coupure de courants capacitifs pour des caractéristiques assignées de 60 Hz, à condition que la tension de rétablissement satisfasse aux exigences de 60 Hz (voir 7.111.3 de l'IEC 62271-100:2021). Il convient que le réglage de la séparation des contacts repose sur la fréquence du circuit de courant.

### **7.111.7 Tension d'essai**

La tension de rétablissement présumée au cours des essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs doit être calculée sur la base de la tension d'essai de l'essai direct monophasé correspondant, telle que définie au 7.111.7 de l'IEC 62271-100:2021, et doit satisfaire aux exigences du 7.111.10 de l'IEC 62271-100:2021.

En raison des limitations de certains circuits d'essais synthétiques, les exigences supplémentaires suivantes s'appliquent à la tension de rétablissement:

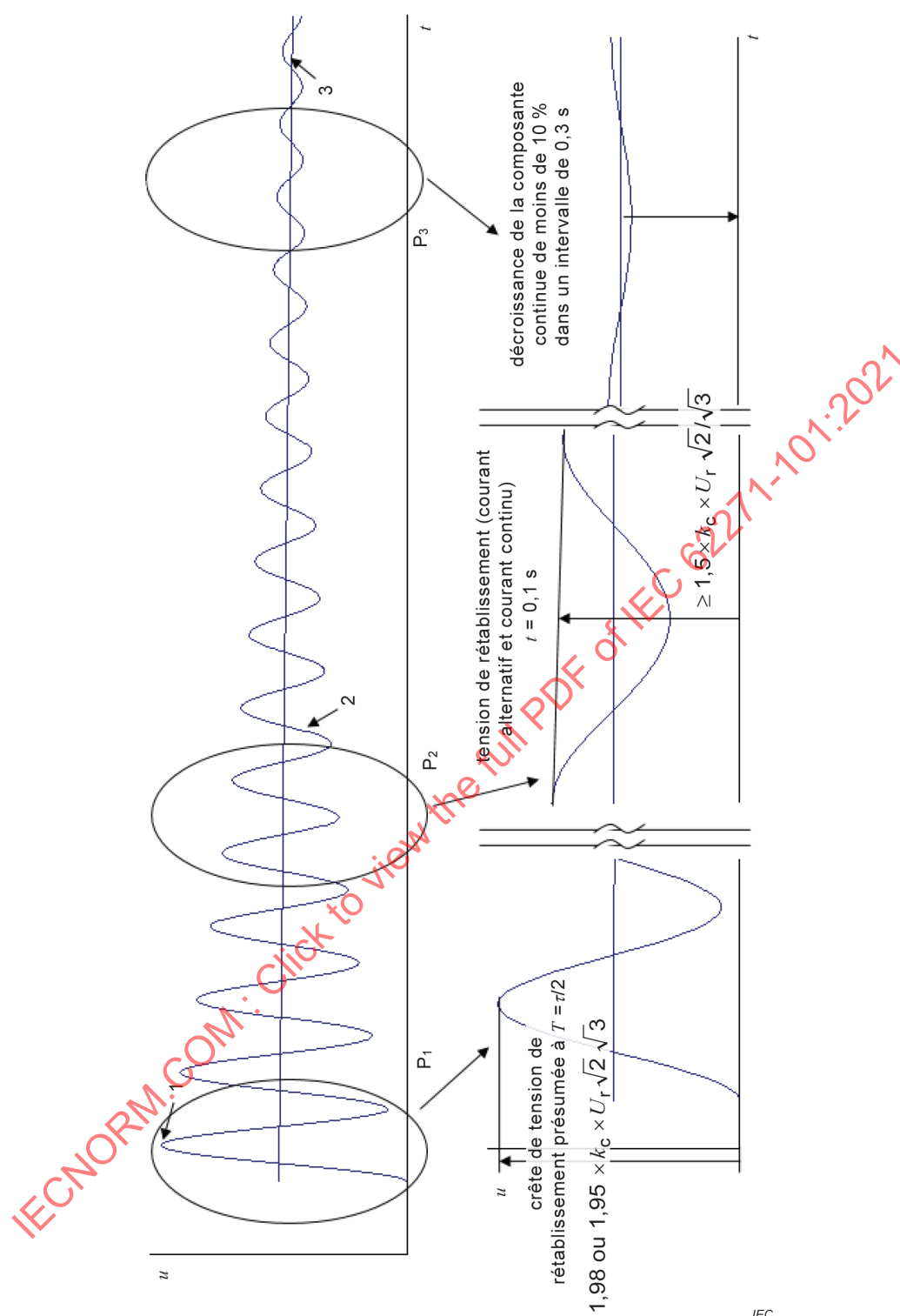
- il convient de maintenir la valeur de crête de la composante alternative de la tension de rétablissement de la composante alternative aussi proche que possible de  $k_c \times U_T \sqrt{2/\sqrt{3}}$ ;
- la composante continue de la tension de rétablissement ne doit pas décroître de plus de 10 % dans un intervalle de 0,3 s après l'extinction définitive de l'arc, sauf pour la séquence d'essais LC1 et/ou CC1;
- la tension de rétablissement ne doit pas chuter en dessous de  $1,5 \times k_c \times U_T \sqrt{2/\sqrt{3}}$  dans un intervalle de 0,1 s après l'extinction définitive de l'arc.

Une représentation graphique du calcul de la tension de rétablissement est donnée à la Figure 15.

Des exemples de circuits d'établissement et de coupure de courants capacitifs synthétiques sont donnés à l'Annexe I.

Lorsqu'aucun des circuits d'essai utilisés pour les différentes séquences d'essai ne peut satisfaire aux exigences de tension de rétablissement concernant la composante continue, telles qu'elles sont énumérées ci-dessus, pendant 300 ms, la capacité de tenue du disjoncteur doit être démontrée d'une autre façon. Cette démonstration peut être faite au moyen d'un essai supplémentaire sans courant, par application de la tension de rétablissement exigée. La tension de rétablissement exigée peut être obtenue par application, par exemple, d'une tension continue sur une borne et une tension alternative sur l'autre borne pendant la durée exigée. Il doit y avoir cinq applications de tensions dans chaque polarité. Lorsque les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sont effectués en triphasé, cet essai diélectrique supplémentaire doit être effectué sur chacune des trois phases. La pression pour la coupure et l'isolement au cours de cet essai doit, le cas échéant, être celle spécifiée pour l'essai d'établissement et de coupure de courants capacitifs correspondant.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62271-101:2021



### Légende

- 1 tension de rétablissement avec décroissance exponentielle dans les composantes alternative et continue, aux bornes du disjoncteur pendant un essai synthétique d'établissement et de coupure de courants capacitifs
- 2 composante alternative de la tension de rétablissement
- 3 composante continue de la tension de rétablissement

$\tau$  cycle à fréquence industrielle

$P_1$  point auquel la crête de tension de rétablissement (1) se produit

$P_2$  point auquel la tension de rétablissement (1) ne doit pas être inférieure à  $1,5 \times k_c \times U_r \sqrt{2/\sqrt{3}}$

$P_3$  point auquel la tension de rétablissement en courant continu (3) ne doit pas être inférieure à  $0,9 \times k_c \times U_r \sqrt{2/\sqrt{3}}$

**Figure 15 – Évaluation de la tension de rétablissement en essai synthétique d'établissement et de coupure de courants capacitifs**

## Annexe A (normative)

### Correction du rapport $di/dt$ et de la TTR pour la séquence d'essais T100a

#### A.1 Généralités

Pendant les conditions de défauts asymétriques, le rapport  $di/dt$  et la TTR résultants sont modifiés par la composante continue du courant de défaut.

Il existe deux options:

- 1) régler le circuit d'essai de manière à obtenir la TTR assignée associée au T100s,  
Il n'est pas possible dans ce cas de satisfaire simultanément à tous les paramètres ( $di/dt$ ,  $u_1$  et  $u_c$ ) car ils ne varient pas linéairement avec la composante continue au zéro de courant. La tension de charge du circuit d'essais synthétiques doit être fixée pour obtenir les paramètres d'essais les plus contraignants. Pour les essais sur la grande alternance, le paramètre d'essai le plus contraignant est toujours  $di/dt$  alors que le paramètre d'essai le plus contraignant pour les essais sur la petite alternance suivante est  $u_c$ . Dans le cas de la méthode d'essai par injection de tension, le paramètre d'essai le plus contraignant pour les essais sur la grande alternance devient  $u_1$ .
- 2) utiliser différents circuits d'essai pour obtenir la TTR modifiée associée aux conditions d'asymétrie appropriées.  
Il est possible dans ce cas de satisfaire simultanément à tous les paramètres ( $di/dt$ ,  $u_1$  et  $u_c$ ) exigés.

Le choix de l'option est laissé à la discrétion du constructeur car l'option 1) peut produire des contraintes excessives sur le disjoncteur (par exemple, pour les essais sur la grande alternance, la correction exigée sur  $di/dt$  produit un  $u_c$  supérieur à celui exigé).

#### A.2 Réduction du rapport $di/dt$

Pour les paramètres de la dernière alternance de courant, se reporter au Tableau A.7 et au Tableau A.8, ainsi que du Tableau E.12 au Tableau E.17.

#### A.3 TTR corrigée pour le premier pôle qui coupe avec l'asymétrie exigée

Les Tableaux Tableau A.1 à Tableau A.6 traitent des valeurs corrigées de la TTR pour  $k_{pp} = 1,5, 1,3$  et  $1,2$  pour  $f_r = 50$  Hz et  $f_r = 60$  Hz.

**Tableau A.1 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle qui coupe  
pour  $k_{pp} = 1,3$  et  $f_r = 50$  Hz**

| Durée minimale de coupure<br>ms               |                                               | 10,0 < t ≤ 27,0      |                      | 27,0 < t ≤ 47,5      |                      | 47,5 < t ≤ 68,0      |                      | 68,0 < t ≤ 88,0      |                      |  |  |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|--|
|                                               | U <sub>r</sub><br>kV                          | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV |  |  |
| τ = 45 ms<br>grande<br>alternance             | 72,5 <sup>c</sup>                             | b                    | 99                   | b                    | 105                  | b                    | 107                  | a                    | a                    |  |  |
|                                               | 72,5 <sup>d</sup>                             | b                    | 109                  | b                    | 115                  | b                    | 118                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 100                                           | 74                   | 136                  | 78                   | 144                  | 79                   | 147                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 123                                           | 90                   | 166                  | 96                   | 177                  | 97                   | 181                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 145                                           | 106                  | 195                  | 113                  | 208                  | 115                  | 213                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 170                                           | 125                  | 228                  | 132                  | 243                  | 134                  | 249                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 245                                           | 179                  | 325                  | 190                  | 348                  | 194                  | 357                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 300                                           | 219                  | 394                  | 232                  | 423                  | 237                  | 436                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 362                                           | 264                  | 471                  | 280                  | 508                  | 286                  | 524                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 420                                           | 306                  | 541                  | 324                  | 586                  | 331                  | 606                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 550                                           | 399                  | 693                  | 424                  | 757                  | 433                  | 787                  |                      |                      |  |  |
| 800                                           | 576                                           | 965                  | 613                  | 1 074                | 628                  | 1 126                |                      |                      |                      |  |  |
| τ = 45 ms<br>petite<br>alternance<br>suivante | 72,5 <sup>c</sup>                             | b                    | 98                   | b                    | 103                  | b                    | 106                  | a                    | a                    |  |  |
|                                               | 72,5 <sup>d</sup>                             | b                    | 107                  | b                    | 113                  | b                    | 116                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 100                                           | 72                   | 135                  | 76                   | 143                  | 78                   | 146                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 123                                           | 88                   | 167                  | 94                   | 176                  | 96                   | 180                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 145                                           | 104                  | 197                  | 110                  | 208                  | 113                  | 212                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 170                                           | 122                  | 232                  | 129                  | 244                  | 132                  | 249                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 245                                           | 176                  | 338                  | 187                  | 354                  | 191                  | 360                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 300                                           | 216                  | 417                  | 229                  | 435                  | 234                  | 442                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 362                                           | 261                  | 507                  | 276                  | 528                  | 283                  | 535                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 420                                           | 304                  | 593                  | 321                  | 615                  | 328                  | 623                  |                      |                      |  |  |
|                                               | 550                                           | 399                  | 789                  | 421                  | 814                  | 430                  | 821                  |                      |                      |  |  |
| 800                                           | 584                                           | 1 184                | 615                  | 1 207                | 627                  | 1 209                |                      |                      |                      |  |  |
| Durée minimale de coupure<br>ms               |                                               | 10,0 < t ≤ 27,0      |                      | 27,0 < t ≤ 47,5      |                      | 47,5 < t ≤ 67,5      |                      | 67,5 < t ≤ 88,0      |                      |  |  |
|                                               | U <sub>r</sub><br>kV                          | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV |  |  |
| τ = 60 ms<br>grande<br>alternance             | 72,5 <sup>c</sup>                             | b                    | 92                   | b                    | 100                  | b                    | 104                  | b                    | 106                  |  |  |
|                                               | 72,5 <sup>d</sup>                             | b                    | 102                  | b                    | 111                  | b                    | 115                  | b                    | 117                  |  |  |
|                                               | 100                                           | 69                   | 127                  | 75                   | 138                  | 77                   | 143                  | 79                   | 146                  |  |  |
|                                               | 123                                           | 85                   | 155                  | 92                   | 169                  | 95                   | 176                  | 97                   | 179                  |  |  |
|                                               | 145                                           | 100                  | 182                  | 108                  | 199                  | 112                  | 207                  | 114                  | 211                  |  |  |
|                                               | 170                                           | 117                  | 212                  | 127                  | 232                  | 131                  | 242                  | 134                  | 247                  |  |  |
|                                               | 245                                           | 168                  | 301                  | 182                  | 331                  | 189                  | 347                  | 192                  | 355                  |  |  |
|                                               | 300                                           | 205                  | 364                  | 223                  | 403                  | 231                  | 422                  | 235                  | 433                  |  |  |
|                                               | 362                                           | 247                  | 434                  | 269                  | 482                  | 279                  | 506                  | 284                  | 520                  |  |  |
|                                               | 420                                           | 286                  | 497                  | 311                  | 554                  | 323                  | 584                  | 329                  | 601                  |  |  |
|                                               | τ = 60 ms<br>petite<br>alternance<br>suivante | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 93                   | b                    | 100                  | b                    | 104                  | b                    |  |  |
| 72,5 <sup>d</sup>                             |                                               | b                    | 101                  | b                    | 110                  | b                    | 114                  | b                    | 116                  |  |  |
| 100                                           |                                               | 68                   | 128                  | 73                   | 138                  | 76                   | 143                  | 78                   | 146                  |  |  |
| 123                                           |                                               | 83                   | 159                  | 90                   | 171                  | 94                   | 177                  | 96                   | 180                  |  |  |
| 145                                           |                                               | 98                   | 188                  | 107                  | 202                  | 111                  | 209                  | 113                  | 212                  |  |  |
| 170                                           |                                               | 115                  | 221                  | 125                  | 237                  | 130                  | 245                  | 132                  | 249                  |  |  |
| 245                                           |                                               | 167                  | 323                  | 181                  | 345                  | 187                  | 355                  | 191                  | 360                  |  |  |
| 300                                           |                                               | 205                  | 399                  | 221                  | 425                  | 229                  | 437                  | 234                  | 442                  |  |  |
| 362                                           |                                               | 248                  | 487                  | 267                  | 517                  | 277                  | 530                  | 282                  | 536                  |  |  |
| 420                                           |                                               | 288                  | 570                  | 311                  | 603                  | 322                  | 618                  | 328                  | 623                  |  |  |

| Durée minimale de coupure                    |            | 10,0 < t ≤ 27,0 |              | 27,0 < t ≤ 47,5 |              | 47,5 < t ≤ 67,5 |              | 67,5 < t ≤ 87,5 |              | 87,5 < t ≤ 108 |              |
|----------------------------------------------|------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|----------------|--------------|
| ms                                           |            |                 |              |                 |              |                 |              |                 |              |                |              |
|                                              | $U_r$      | $u_1$           | $u_c$        | $u_1$           | $u_c$        | $u_1$           | $u_c$        | $u_1$           | $u_c$        | $u_1$          | $u_c$        |
|                                              | kV         | kV              | kV           | kV              | kV           | kV              | kV           | kV              | kV           | kV             | kV           |
| $\tau = 75$ ms<br>grande alternance          | 550<br>800 | 349<br>501      | 580<br>785   | 388<br>560      | 669<br>928   | 409<br>592      | 722<br>1 015 | 421<br>610      | 754<br>1 070 | 428<br>621     | 775<br>1 106 |
| $\tau = 75$ ms<br>petite alternance suivante | 550<br>800 | 360<br>529      | 737<br>1 126 | 394<br>577      | 786<br>1 184 | 413<br>603      | 808<br>1 207 | 423<br>618      | 819<br>1 215 | 429<br>626     | 823<br>1 216 |

a La séquence d'essais T100a n'est pas applicable, niveau d'asymétrie inférieur à 20 % pour les deux alternances de courant.

b  $u_1$  n'est pas défini pour une TTR à deux paramètres.

c Classe S1

d Classe S2

**Tableau A.2 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle qui coupe pour  $k_{pp} = 1,3$  et  $f_r = 60$  Hz**

| Durée minimale de coupure<br>ms               |                      | 8,5 < t ≤ 22,5       |                      | 22,5 < t ≤ 39,5      |                      | 39,5 < t ≤ 56,5      |                      | 56,5 < t ≤ 73,0      |                      |  |  |  |  |
|-----------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|--|--|--|
|                                               | U <sub>r</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV |  |  |  |  |
| τ = 45 ms<br>grande<br>alternance             | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 94                   | b                    | 102                  | b                    | 105                  | a                    | a                    |  |  |  |  |
|                                               | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 105                  | b                    | 113                  | b                    | 116                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 100                  | 71                   | 130                  | 76                   | 140                  | 78                   | 145                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 123                  | 87                   | 159                  | 93                   | 172                  | 96                   | 178                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 145                  | 102                  | 186                  | 110                  | 202                  | 113                  | 209                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 170                  | 120                  | 217                  | 129                  | 236                  | 133                  | 244                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 245                  | 172                  | 307                  | 185                  | 336                  | 191                  | 350                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 300                  | 210                  | 371                  | 226                  | 408                  | 234                  | 426                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 362                  | 253                  | 441                  | 273                  | 488                  | 282                  | 511                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 420                  | 293                  | 505                  | 316                  | 561                  | 326                  | 589                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 550                  | 381                  | 640                  | 412                  | 720                  | 426                  | 761                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 800                  | 548                  | 873                  | 595                  | 1 006                | 617                  | 1 079                |                      |                      |  |  |  |  |
| τ = 45 ms<br>petite<br>alternance<br>suivante | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 95                   | b                    | 101                  | b                    | 105                  | a                    | a                    |  |  |  |  |
|                                               | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 104                  | b                    | 111                  | b                    | 115                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 100                  | 69                   | 132                  | 75                   | 141                  | 77                   | 145                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 123                  | 85                   | 163                  | 92                   | 173                  | 95                   | 178                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 145                  | 101                  | 192                  | 108                  | 205                  | 112                  | 211                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 170                  | 118                  | 227                  | 127                  | 241                  | 131                  | 247                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 245                  | 171                  | 331                  | 183                  | 351                  | 189                  | 359                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 300                  | 210                  | 410                  | 225                  | 432                  | 232                  | 441                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 362                  | 254                  | 501                  | 272                  | 525                  | 280                  | 535                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 420                  | 295                  | 587                  | 315                  | 614                  | 325                  | 624                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 550                  | 388                  | 787                  | 414                  | 816                  | 426                  | 825                  |                      |                      |  |  |  |  |
|                                               | 800                  | 570                  | 1 196                | 607                  | 1 223                | 623                  | 1 225                |                      |                      |  |  |  |  |

| Durée minimale de coupure<br>ms              |                   | 8,5 < t ≤ 22,5 |              | 22,5 < t ≤ 39,5 |              | 39,5 < t ≤ 56,5 |              | 56,5 < t ≤ 73,0 |              | 73,0 < t ≤ 90,0 |              |                  |              |
|----------------------------------------------|-------------------|----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|------------------|--------------|
|                                              | $U_r$<br>kV       | $u_1$<br>kV    | $u_c$<br>kV  | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV  | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV  | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV  | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV  |                  |              |
| $\tau = 60$ ms<br>grande alternance          | 72,5 <sup>c</sup> | b              | 87           | b               | 97           | b               | 102          | b               | 104          | a               | a            |                  |              |
|                                              | 72,5 <sup>d</sup> | b              | 97           | b               | 107          | b               | 112          | b               | 115          |                 |              |                  |              |
|                                              | 100               | 66             | 120          | 72              | 133          | 76              | 140          | 78              | 144          |                 |              |                  |              |
|                                              | 123               | 81             | 146          | 89              | 162          | 93              | 171          | 95              | 176          |                 |              |                  |              |
|                                              | 145               | 95             | 171          | 104             | 191          | 110             | 201          | 112             | 207          |                 |              |                  |              |
|                                              | 170               | 111            | 199          | 122             | 222          | 128             | 235          | 132             | 242          |                 |              |                  |              |
|                                              | 245               | 159            | 281          | 176             | 316          | 185             | 335          | 189             | 346          |                 |              |                  |              |
|                                              | 300               | 194            | 338          | 215             | 382          | 226             | 407          | 232             | 422          |                 |              |                  |              |
|                                              | 362               | 234            | 400          | 259             | 455          | 272             | 487          | 279             | 505          |                 |              |                  |              |
|                                              | 420               | 270            | 456          | 299             | 522          | 315             | 560          | 324             | 582          |                 |              |                  |              |
| $\tau = 60$ ms<br>petite alternance suivante | 72,5 <sup>c</sup> | b              | 89           | b               | 97           | b               | 102          | b               | 104          | a               | a            |                  |              |
|                                              | 72,5 <sup>d</sup> | b              | 97           | b               | 106          | b               | 112          | b               | 114          |                 |              |                  |              |
|                                              | 100               | 65             | 124          | 71              | 135          | 75              | 141          | 77              | 144          |                 |              |                  |              |
|                                              | 123               | 80             | 153          | 88              | 167          | 92              | 174          | 94              | 178          |                 |              |                  |              |
|                                              | 145               | 94             | 181          | 104             | 197          | 108             | 206          | 111             | 210          |                 |              |                  |              |
|                                              | 170               | 111            | 214          | 121             | 232          | 127             | 242          | 131             | 247          |                 |              |                  |              |
|                                              | 245               | 160            | 314          | 175             | 339          | 184             | 352          | 188             | 358          |                 |              |                  |              |
|                                              | 300               | 197            | 390          | 215             | 419          | 225             | 434          | 231             | 441          |                 |              |                  |              |
|                                              | 362               | 238            | 478          | 260             | 511          | 272             | 527          | 279             | 535          |                 |              |                  |              |
|                                              | 420               | 277            | 562          | 303             | 599          | 316             | 616          | 324             | 624          |                 |              |                  |              |
| Durée minimale de coupure<br>ms              |                   | 8,5 < t ≤ 22,5 |              | 22,5 < t ≤ 39,5 |              | 39,5 < t ≤ 56,0 |              | 56,0 < t ≤ 73,0 |              | 73,0 < t ≤ 90,0 |              | 90,0 < t ≤ 106,5 |              |
|                                              | $U_r$<br>kV       | $u_1$<br>kV    | $u_c$<br>kV  | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV  | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV  | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV  | $u_1$<br>kV     | $u_c$<br>kV  | $u_1$<br>kV      | $u_c$<br>kV  |
| $\tau = 75$ ms<br>grande alternance          | 550<br>800        | 327<br>467     | 517<br>676   | 369<br>531      | 615<br>832   | 395<br>569      | 677<br>935   | 410<br>593      | 718<br>1 004 | 420<br>608      | 746<br>1 052 | 426<br>618       | 765<br>1 087 |
| $\tau = 75$ ms<br>petite alternance suivante | 550<br>800        | 345<br>509     | 730<br>1 134 | 382<br>561      | 782<br>1 195 | 403<br>591      | 808<br>1 221 | 416<br>609      | 821<br>1 231 | 424<br>620      | 827<br>1 233 | 429<br>627       | 830<br>1 230 |

a La séquence d'essais T 100a n'est pas applicable, niveau d'asymétrie inférieur à 20 % pour les deux alternances de courant.

b  $u_1$  n'est pas défini pour une TTR à deux paramètres.

c Classe S1

d Classe S2

**Tableau A.3 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle qui coupe pour  $k_{pp} = 1,5$  et  $f_r = 50$  Hz**

| Durée minimale de coupure<br>ms               |                                                                    | 10,0 < t ≤ 27,0                   |                                        | 27,0 < t ≤ 47,5                   |                                        | 47,5 < t ≤ 68,0                   |                                        | 68,0 < t ≤ 88,0                   |                                        |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
|                                               | U <sub>r</sub><br>kV                                               | u <sub>1</sub><br>kV              | u <sub>c</sub><br>kV                   | u <sub>1</sub><br>kV              | u <sub>c</sub><br>kV                   | u <sub>1</sub><br>kV              | u <sub>c</sub><br>kV                   | u <sub>1</sub><br>kV              | u <sub>c</sub><br>kV                   |
| τ = 45 ms<br>grande<br>alternance             | 72,5 <sup>c</sup><br>72,5 <sup>d</sup><br>100<br>123<br>145<br>170 | b<br>b<br>85<br>104<br>123<br>144 | 114<br>126<br>156<br>191<br>224<br>262 | b<br>b<br>90<br>110<br>130<br>152 | 121<br>133<br>166<br>203<br>239<br>280 | b<br>b<br>91<br>112<br>132<br>155 | 123<br>136<br>169<br>208<br>245<br>286 | a                                 | a                                      |
| τ = 45 ms<br>petite<br>alternance<br>suivante | 72,5 <sup>c</sup><br>72,5 <sup>d</sup><br>100<br>123<br>145<br>170 | b<br>b<br>83<br>102<br>120<br>141 | 113<br>124<br>156<br>193<br>228<br>269 | b<br>b<br>88<br>108<br>127<br>149 | 119<br>131<br>165<br>203<br>240<br>282 | b<br>b<br>90<br>111<br>130<br>153 | 122<br>134<br>169<br>208<br>245<br>288 | a                                 | a                                      |
| Durée minimale de coupure<br>ms               |                                                                    | 10,0 < t ≤ 27,0                   |                                        | 27,0 < t ≤ 47,5                   |                                        | 47,5 < t ≤ 67,5                   |                                        | 67,5 < t ≤ 88,0                   |                                        |
|                                               | U <sub>r</sub><br>kV                                               | u <sub>1</sub><br>kV              | u <sub>c</sub><br>kV                   | u <sub>1</sub><br>kV              | u <sub>c</sub><br>kV                   | u <sub>1</sub><br>kV              | u <sub>c</sub><br>kV                   | u <sub>1</sub><br>kV              | u <sub>c</sub><br>kV                   |
| τ = 60 ms<br>grande<br>alternance             | 72,5 <sup>c</sup><br>72,5 <sup>d</sup><br>100<br>123<br>145<br>170 | b<br>b<br>79<br>98<br>115<br>135  | 106<br>118<br>146<br>178<br>209<br>243 | b<br>b<br>86<br>106<br>125<br>146 | 116<br>128<br>159<br>195<br>229<br>267 | b<br>b<br>89<br>110<br>129<br>152 | 120<br>133<br>165<br>203<br>238<br>279 | b<br>b<br>91<br>112<br>132<br>154 | 122<br>135<br>168<br>207<br>243<br>285 |
| τ = 60 ms<br>petite<br>alternance<br>suivante | 72,5 <sup>c</sup><br>72,5 <sup>d</sup><br>100<br>123<br>145<br>170 | b<br>b<br>78<br>96<br>114<br>133  | 107<br>117<br>149<br>184<br>217<br>256 | b<br>b<br>85<br>104<br>123<br>144 | 115<br>126<br>160<br>197<br>233<br>275 | b<br>b<br>88<br>108<br>128<br>150 | 120<br>131<br>166<br>204<br>241<br>283 | b<br>b<br>90<br>110<br>130<br>153 | 122<br>134<br>168<br>207<br>245<br>287 |

a La séquence d'essais T100a n'est pas applicable, niveau d'asymétrie inférieur à 20 % pour les deux alternances de courant.

b u<sub>1</sub> n'est pas défini pour une TTR à deux paramètres.

c Classe S1.

d Classe S2.

**Tableau A.4 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle qui coupe  
pour  $k_{pp} = 1,5$  et  $f_r = 60$  Hz**

| Durée minimale de coupeure<br>ms                                                                                                        |                      | 8,5 < t ≤ 22,5       |                      | 22,5 < t ≤ 39,5      |                      | 39,5 < t ≤ 56,5      |                      | 56,5 < t ≤ 73,0      |                      | 73,0 < t ≤ 90,0      |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                                                                                                                         | U <sub>r</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV |
| τ = 45 ms<br>grande<br>alternance                                                                                                       | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 109                  | b                    | 117                  | b                    | 121                  | b                    | 123                  | a                    | a                    |
|                                                                                                                                         | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 121                  | b                    | 130                  | b                    | 134                  | b                    | 136                  |                      |                      |
|                                                                                                                                         | 100                  | 81                   | 149                  | 88                   | 161                  | 90                   | 167                  | 91                   | 169                  |                      |                      |
|                                                                                                                                         | 123                  | 100                  | 182                  | 108                  | 198                  | 111                  | 205                  | 112                  | 208                  |                      |                      |
|                                                                                                                                         | 145                  | 118                  | 213                  | 127                  | 232                  | 131                  | 241                  | 132                  | 245                  |                      |                      |
|                                                                                                                                         | 170                  | 138                  | 249                  | 148                  | 271                  | 153                  | 281                  | 155                  | 286                  |                      |                      |
| τ = 45 ms<br>petite<br>alternance<br>suivante                                                                                           | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 110                  | b                    | 117                  | b                    | 121                  | b                    | 123                  | a                    | a                    |
|                                                                                                                                         | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 120                  | b                    | 128                  | b                    | 132                  | b                    | 134                  |                      |                      |
|                                                                                                                                         | 100                  | 80                   | 152                  | 86                   | 162                  | 89                   | 167                  | 90                   | 169                  |                      |                      |
|                                                                                                                                         | 123                  | 99                   | 188                  | 106                  | 201                  | 109                  | 206                  | 111                  | 209                  |                      |                      |
|                                                                                                                                         | 145                  | 116                  | 223                  | 125                  | 237                  | 129                  | 243                  | 131                  | 246                  |                      |                      |
|                                                                                                                                         | 170                  | 137                  | 263                  | 147                  | 279                  | 151                  | 286                  | 154                  | 289                  |                      |                      |
| Durée minimale de coupeure<br>ms                                                                                                        |                      | 8,5 < t ≤ 22,5       |                      | 22,5 < t ≤ 39,5      |                      | 39,5 < t ≤ 56,5      |                      | 56,5 < t ≤ 73,0      |                      | 73,0 < t ≤ 90,0      |                      |
|                                                                                                                                         | U <sub>r</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV | u <sub>1</sub><br>kV | u <sub>c</sub><br>kV |
| τ = 60 ms<br>grande<br>alternance                                                                                                       | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 101                  | b                    | 11                   | b                    | 117                  | b                    | 120                  | b                    | 122                  |
|                                                                                                                                         | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 112                  | b                    | 123                  | b                    | 129                  | b                    | 133                  | b                    | 135                  |
|                                                                                                                                         | 100                  | 76                   | 137                  | 83                   | 153                  | 87                   | 161                  | 89                   | 165                  | 91                   | 168                  |
|                                                                                                                                         | 123                  | 93                   | 168                  | 102                  | 187                  | 107                  | 197                  | 110                  | 203                  | 111                  | 206                  |
|                                                                                                                                         | 145                  | 109                  | 196                  | 120                  | 219                  | 126                  | 231                  | 130                  | 238                  | 131                  | 243                  |
|                                                                                                                                         | 170                  | 128                  | 228                  | 141                  | 255                  | 148                  | 270                  | 152                  | 279                  | 154                  | 284                  |
| τ = 60 ms<br>petite<br>alternance<br>suivante                                                                                           | 72,5 <sup>c</sup>    | b                    | 103                  | b                    | 112                  | b                    | 118                  | b                    | 120                  | b                    | 122                  |
|                                                                                                                                         | 72,5 <sup>d</sup>    | b                    | 112                  | b                    | 123                  | b                    | 129                  | b                    | 132                  | b                    | 134                  |
|                                                                                                                                         | 100                  | 75                   | 143                  | 82                   | 156                  | 86                   | 163                  | 89                   | 167                  | 90                   | 169                  |
|                                                                                                                                         | 123                  | 92                   | 177                  | 101                  | 193                  | 106                  | 201                  | 109                  | 206                  | 111                  | 208                  |
|                                                                                                                                         | 145                  | 109                  | 210                  | 120                  | 228                  | 125                  | 238                  | 128                  | 243                  | 130                  | 246                  |
|                                                                                                                                         | 170                  | 128                  | 249                  | 140                  | 269                  | 147                  | 280                  | 151                  | 285                  | 153                  | 288                  |
| <sup>a</sup> La séquence d'essais T100a n'est pas applicable, niveau d'asymétrie inférieur à 20 % pour les deux alternances de courant. |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| <sup>b</sup> u <sub>1</sub> n'est pas défini pour une TTR à deux paramètres.                                                            |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| <sup>c</sup> Classe S1                                                                                                                  |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| <sup>d</sup> Classe S2                                                                                                                  |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |

**Tableau A.5 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle qui coupe  
pour  $k_{pp} = 1,2$  et  $f_r = 50$  Hz**

| Durée minimale de coupeure<br>ms                    |             | 10,0 < $t \leq 27,0$ |             | 27,0 < $t \leq 47,0$ |             | 47,0 < $t \leq 67,5$ |             | 67,5 < $t \leq 87,5$ |             | 87,5 < $t \leq 108$ |             |
|-----------------------------------------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|---------------------|-------------|
|                                                     | $U_r$<br>kV | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV | $u_1$<br>kV         | $u_c$<br>kV |
| $\tau = 120$ ms<br>grande<br>alternance             | 1 100       | 530                  | 871         | 615                  | 1 070       | 671                  | 1 206       | 709                  | 1 304       | 736                 | 1 375       |
|                                                     | 1 200       | 574                  | 924         | 667                  | 1 145       | 729                  | 1 297       | 772                  | 1 406       | 801                 | 1 487       |
| $\tau = 120$ ms<br>petite<br>alternance<br>suivante | 1 100       | 597                  | 1 374       | 669                  | 1 491       | 715                  | 1 559       | 746                  | 1 599       | 766                 | 1 623       |
|                                                     | 1 200       | 655                  | 1 524       | 733                  | 1 648       | 783                  | 1 719       | 815                  | 1 760       | 837                 | 1 784       |

**Tableau A.6 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle qui coupe  
pour  $k_{pp} = 1,2$  et  $f_r = 60$  Hz**

| Durée minimale de coupe<br>ms                 |                | $8,5 < t \leq 22,5$ |                | $22,5 < t \leq 39,0$ |                | $39,0 < t \leq 56,0$ |                | $56,0 < t \leq 73,0$ |                | $73,0 < t \leq 89,5$ |                | $89,5 < t \leq 106,5$ |                |
|-----------------------------------------------|----------------|---------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|-----------------------|----------------|
|                                               | $U_r$<br>kV    | $u_1$<br>kV         | $u_c$<br>kV    | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV    | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV    | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV    | $u_1$<br>kV          | $u_c$<br>kV    | $u_1$<br>kV           | $u_c$<br>kV    |
| $\tau = 120$ ms<br>grande alternance          | 1 100<br>1 200 | 483<br>522          | 727<br>760     | 569<br>617           | 931<br>987     | 629<br>683           | 1 077<br>1 150 | 672<br>730           | 1 187<br>1 272 | 704<br>765           | 1 271<br>1 367 | 728<br>792            | 1 336<br>1 440 |
| $\tau = 120$ ms<br>petite alternance suivante | 1 100<br>1 200 | 571<br>628          | 1 373<br>1 531 | 645<br>707           | 1 490<br>1 653 | 693<br>760           | 1 561<br>1 727 | 727<br>796           | 1 605<br>1 772 | 751<br>822           | 1 632<br>1 799 | 768<br>840            | 1 649<br>1 815 |

**Tableau A.7 – Pourcentage de la composante continue et  $di/dt$  au zéro de courant  
pour le premier pôle qui coupe pour  $f_r = 50$  Hz**

| $\tau$<br>ms | Durée minimale de coupe<br>ms | Grande alternance        |              | Petite alternance suivante |              |                     |                             |
|--------------|-------------------------------|--------------------------|--------------|----------------------------|--------------|---------------------|-----------------------------|
|              |                               | Composante continue<br>% | $di/dt$<br>% | Composante continue<br>%   | $di/dt$<br>% | $I_{crête}$<br>p.u. | durée de l'alternance<br>ms |
| 45           | $10,0 < t \leq 27,0$          | 44,6                     | 92,7         | 37,9                       | 89,9         | 0,59                | 7,5                         |
|              | $27,0 < t \leq 47,5$          | 28,9                     | 97,8         | 24,1                       | 95,3         | 0,74                | 8,5                         |
|              | $47,5 < t \leq 68,0$          | 18,7 <sup>a</sup>        | 99,6         | 15,3 <sup>a</sup>          | 97,7         | 0,83                | 9,0                         |
| 60           | $10,0 < t \leq 27,0$          | 54,2                     | 86,9         | 48,6                       | 84,8         | 0,49                | 6,5                         |
|              | $27,0 < t \leq 47,5$          | 39,2                     | 94,1         | 34,5                       | 92,0         | 0,63                | 7,5                         |
|              | $47,5 < t \leq 67,5$          | 28,3                     | 97,4         | 24,6                       | 95,6         | 0,74                | 8,5                         |
|              | $67,5 < t \leq 88,0$          | 20,3                     | 99,0         | 17,6 <sup>a</sup>          | 97,5         | 0,81                | 9,0                         |
| 75           | $10,0 < t \leq 27,0$          | 61,0                     | 81,8         | 56,4                       | 80,2         | 0,41                | 6,0                         |
|              | $27,0 < t \leq 47,5$          | 47,1                     | 90,2         | 42,9                       | 88,5         | 0,55                | 7,0                         |
|              | $47,5 < t \leq 67,5$          | 36,3                     | 94,7         | 32,7                       | 93,1         | 0,66                | 8,0                         |
|              | $67,5 < t \leq 87,5$          | 27,9                     | 97,2         | 25,0                       | 95,8         | 0,74                | 8,5                         |
|              | $87,5 < t \leq 108,0$         | 21,4                     | 98,6         | 19,1 <sup>a</sup>          | 97,3         | 0,80                | 8,5                         |
| 120          | $10,0 < t \leq 27,0$          | 73,1                     | 70,2         | 70,2                       | 69,4         | 0,28                | 5,0                         |
|              | $27,0 < t \leq 47,0$          | 62,1                     | 80,0         | 59,2                       | 79,0         | 0,39                | 6,0                         |
|              | $47,0 < t \leq 67,5$          | 52,8                     | 86,4         | 50,0                       | 85,3         | 0,49                | 6,5                         |
|              | $67,5 < t \leq 87,5$          | 44,8                     | 90,6         | 42,2                       | 89,5         | 0,57                | 7,0                         |
|              | $87,5 < t \leq 108,0$         | 38,0                     | 93,5         | 35,6                       | 92,4         | 0,63                | 7,5                         |

<sup>a</sup> Pourcentage de la composante continue inférieur à 20 %. Essai à effectuer sans réduction du rapport  $di/dt$  et/ou des paramètres TTR.

**Tableau A.8 – Pourcentage de la composante continue et  $di/dt$  au zéro de courant pour le premier pôle qui coupe pour  $f_r = 60$  Hz**

| $\tau$<br>ms | Durée minimale de coupure<br>ms | Grande alternance        |              | Petite alternance suivante |              |                            |                             |
|--------------|---------------------------------|--------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|-----------------------------|
|              |                                 | Composante continue<br>% | $di/dt$<br>% | Composante continue<br>%   | $di/dt$<br>% | $I_{\text{crête}}$<br>p.u. | durée de l'alternance<br>ms |
| 45           | $8,5 < t \leq 22,5$             | 50,8                     | 89,1         | 44,8                       | 86,8         | 0,52                       | 5,5                         |
|              | $22,5 < t \leq 39,5$            | 35,4                     | 95,6         | 30,6                       | 93,4         | 0,67                       | 6,5                         |
|              | $39,5 < t \leq 56,5$            | 24,6                     | 98,4         | 21,0                       | 96,5         | 0,77                       | 7,0                         |
|              | $56,5 < t \leq 73,0$            | 17,1 <sup>a</sup>        | 99,5         | 14,5 <sup>a</sup>          | 98,1         | 0,84                       | 7,5                         |
| 60           | $8,5 < t \leq 22,5$             | 59,8                     | 82,8         | 55,0                       | 81,1         | 0,43                       | 5,0                         |
|              | $22,5 < t \leq 39,5$            | 45,7                     | 91,0         | 41,4                       | 89,2         | 0,57                       | 6,0                         |
|              | $39,5 < t \leq 56,5$            | 34,8                     | 95,3         | 31,2                       | 93,6         | 0,67                       | 6,5                         |
|              | $56,5 < t \leq 73,0$            | 26,4                     | 97,6         | 23,5                       | 96,2         | 0,75                       | 7,0                         |
|              | $73,0 < t \leq 90,0$            | 20,1                     | 98,6         | 17,8 <sup>a</sup>          | 97,6         | 0,81                       | 7,5                         |
| 75           | $8,5 < t \leq 22,5$             | 66,1                     | 77,4         | 62,1                       | 76,2         | 0,36                       | 4,5                         |
|              | $22,5 < t \leq 39,5$            | 53,2                     | 86,5         | 49,5                       | 85,1         | 0,49                       | 5,5                         |
|              | $39,5 < t \leq 56,0$            | 42,8                     | 91,9         | 39,5                       | 90,5         | 0,59                       | 6,0                         |
|              | $56,0 < t \leq 73,0$            | 34,4                     | 95,1         | 31,5                       | 93,8         | 0,67                       | 6,5                         |
|              | $73,0 < t \leq 90,0$            | 27,6                     | 97,1         | 25,2                       | 95,9         | 0,74                       | 7,0                         |
|              | $90,0 < t \leq 106,5$           | 22,2                     | 98,3         | 20,1                       | 97,3         | 0,79                       | 7,0                         |
| 120          | $8,5 < t \leq 22,5$             | 77,0                     | 65,6         | 74,6                       | 64,9         | 0,24                       | 4,0                         |
|              | $22,5 < t \leq 39,0$            | 67,2                     | 75,6         | 64,7                       | 74,8         | 0,34                       | 4,5                         |
|              | $39,0 < t \leq 56,0$            | 58,6                     | 82,2         | 56,2                       | 81,5         | 0,43                       | 5,0                         |
|              | $56,0 < t \leq 73,0$            | 51,1                     | 87,1         | 48,8                       | 86,2         | 0,50                       | 5,5                         |
|              | $73,0 < t \leq 89,5$            | 44,6                     | 90,5         | 42,4                       | 89,6         | 0,57                       | 6,0                         |
|              | $89,5 < t \leq 106,5$           | 38,8                     | 93,0         | 36,9                       | 92,2         | 0,62                       | 6,5                         |

<sup>a</sup> Pourcentage de la composante continue inférieur à 20 %. Essai à effectuer sans réduction du rapport  $di/dt$  et/ou des paramètres TTR.

#### A.4 Correction du rapport $di/dt$ et de la TTR du premier pôle qui coupe pour les essais avec asymétrie intermédiaire

Pour les paramètres de la dernière alternance de courant y compris  $di/dt$ , se reporter du Tableau E.12 au Tableau E.17.

La VATR et la crête de la TTR peuvent être calculées par multiplication des paramètres du premier pôle qui coupe en condition symétrique par le pourcentage de réduction de  $di/dt$  à zéro de courant après la grande alternance intermédiaire, donnée dans la colonne 9 du Tableau E.12 au Tableau E.17.

### A.5 Correction du rapport $di/dt$ et de la TTR du deuxième pôle qui coupe ou du dernier pôle qui coupe avec grande alternance rallongée avec asymétrie exigée pendant les essais triphasés

Pour les paramètres de la dernière alternance de courant y compris  $di/dt$ , se reporter du Tableau E.12 au Tableau E.17.

La VATR et la crête de la TTR peuvent être calculées par multiplication des paramètres du deuxième ou dernier pôle qui coupe en condition symétrique par le rapport entre  $di/dt$  réduit à zéro de courant après la grande alternance rallongée, donnée dans la colonne 12 du Tableau E.12 au Tableau E.17 et  $di/dt$  à zéro de courant du courant symétrique de court-circuit du deuxième ou dernier pôle qui coupe avec la grande alternance rallongée donnée du Tableau 3 au Tableau 5.

### A.6 Correction du rapport $di/dt$ et de la TTR pendant les essais avec une petite alternance suivante

Pour les essais monophasés, la TTR pour la petite alternance suivante doit être appliquée avec le même facteur de pôle qui coupe que la grande alternance défaillante. Les valeurs de TTR pour la petite alternance suivante dans le cas d'un premier pôle qui coupe peuvent être dérivées des valeurs données du Tableau A.1 au Tableau A.6 ou peuvent être calculées selon A.7.

NOTE Cette procédure d'essai reproduit les conditions d'un essai direct monophasé qui couvre suffisamment les conditions de TTR lors d'un essai triphasé.

Pour les essais triphasés, la phase avec la petite alternance suivante devient le dernier pôle qui coupe. Les paramètres correspondants pour le dernier pôle qui coupe en condition symétrique doivent être appliqués sans aucune correction supplémentaire.

### A.7 Calcul du rapport $di/dt$ et de la TTR du premier pôle qui coupe

#### A.7.1 Généralités

L'Article A.7 est applicable pour les conditions de défauts asymétriques, sur la phase avec l'asymétrie exigée uniquement, lorsque les valeurs ne sont pas données du Tableau A.1 au Tableau A.6, et du Tableau E.12 au Tableau E.17.

#### A.7.2 Calcul du rapport $di/dt$

Pour le rapport  $di/dt$ , la valeur maximale est atteinte pour la condition de défaut symétrique. Au cours de la condition de défaut asymétrique, le  $di/dt$  est réduit et dépend de la composante continue au zéro de courant. Le rapport  $di/dt$  au zéro de courant est calculé par les équations suivantes:

a) pour les petites alternances:

$$\frac{di}{dt} (\text{p.u.})_- = \sqrt{(1 - p^2)} - \frac{p}{2\pi f\tau} \quad (\text{A.1})$$

b) pour les grandes alternances:

$$\frac{di}{dt} (\text{p.u.})_+ = \sqrt{(1 - p^2)} + \frac{p}{2\pi f\tau} \quad (\text{A.2})$$

où

$di/dt$  (p.u.) est le rapport  $di/dt$  en p.u de la condition de défaut symétrique;

– est l'indice utilisé pour désigner la petite alternance;

|        |                                                                                         |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| +      | est l'indice utilisé pour désigner la grande alternance;                                |
| $p$    | est la composante continue au zéro de courant en p.u.;                                  |
| $f$    | est la fréquence (Hz);                                                                  |
| $\tau$ | est la constante de temps de la composante apériodique du courant de court-circuit (s). |

### A.7.3 Calcul de la TTR

Lorsque la coupure se produit, l'instant de zéro de courant ne correspond pas à la valeur de crête de la tension appliquée comme c'est le cas pendant la condition de défaut symétrique. La composante continue modifie le déplacement angulaire entre les zéros de courant et la tension à fréquence industrielle appliquée. Les coordonnées de l'amplitude de la TTR ( $u_1$ ,  $u_c$ ) sont ensuite modifiées selon le déphasage entre l'instant du zéro de courant et la crête de la tension à fréquence industrielle appliquée.

Les coordonnées de l'amplitude de la TTR correspondantes ( $u_1$ ,  $u_c$ ) doivent être calculées à l'aide des équations suivantes:

a) TTR à deux paramètres:

$$u_c(\text{p.u.}) = \frac{k_1 A_1}{2\pi f} \quad (\text{A.3})$$

et

$$k_{1-} = \sin(2\pi f t_3 - \arcsin(p)) + p \times e^{-\frac{t_3}{\tau}} \quad (\text{pour la petite alternance}) \quad (\text{A.4})$$

$$k_{1+} = \sin(2\pi f t_3 + \arcsin(p)) - p \times e^{-\frac{t_3}{\tau}} \quad (\text{pour la grande alternance}) \quad (\text{A.5})$$

$$A_1 = \frac{2\pi f}{\sin(2\pi f t_3)} \quad (\text{A.6})$$

où

$u_c$  est la crête de TTR en p.u du cas symétrique;

$k_1$  est la constante de calcul;

– est l'indice utilisé pour désigner la petite alternance;

+

$A_1$  est la variable de calcul;

$p$  est la composante continue au zéro de courant en p.u.;

$f$  est la fréquence (Hz);

$\tau$  est la constante de temps de la composante apériodique du courant de court-circuit (s);

$t_3$  constitue la coordonnée de temps  $t_3$  spécifiée (s).

b) TTR à quatre paramètres:

$$u_1(\text{p.u.}) = \frac{k_1 A_1}{2\pi f} \quad (\text{A.7})$$

et

$$k_{1-} = \sin(2\pi f t_1 - \arcsin(p)) + p \times e^{-\frac{t_1}{\tau}} \quad (\text{pour la petite alternance}) \quad (\text{A.8})$$

$$k_{1+} = \sin(2\pi f t_1 + \arcsin(p)) - p \times e^{-\frac{t_1}{\tau}} \quad (\text{pour la grande alternance}) \quad (\text{A.9})$$

$$A_1 = \frac{2\pi f}{\sin(2\pi f t_1)} \quad (\text{A.10})$$

où

$u_1$  est la crête de TTR en p.u. du cas symétrique;

$k_1$  est la constante de calcul;

– est l'indice utilisé pour désigner la petite alternance;

+ est l'indice utilisé pour désigner la grande alternance;

$A_1$  est la variable de calcul;

$p$  est la composante continue au zéro de courant en p.u.;

$f$  est la fréquence (Hz);

$\tau$  est la constante de temps de la composante aperiodique du courant de court-circuit (s);

$t_1$  constitue la coordonnée de temps  $t_1$  spécifiée (s).

et

$$u_c(\text{p.u.}) = \frac{k_2 A_1}{\frac{1}{0,75} k_{af} \times 2\pi f} - \frac{k_3 A_2}{2\pi f} = \frac{0,75 \times k_2 A_1}{k_{af} \times 2\pi f} - \frac{k_3 A_2}{2\pi f} \quad (\text{A.11})$$

et

$$k_{2-} = \sin(2\pi f t_2 - \arcsin(p)) + p \times e^{-\frac{t_2}{\tau}} \quad (\text{pour la petite alternance}) \quad (\text{A.12})$$

$$k_{2+} = \sin(2\pi f t_2 + \arcsin(p)) - p \times e^{-\frac{t_2}{\tau}} \quad (\text{pour la grande alternance}) \quad (\text{A.13})$$

$$k_{3-} = \sin(2\pi f (t_2 - t_1) - \arcsin(p)) + p \times e^{-\frac{(t_2 - t_1)}{\tau}} \quad (\text{pour la petite alternance}) \quad (\text{A.14})$$

$$k_{3+} = \sin(2\pi f (t_2 - t_1) + \arcsin(p)) - p \times e^{-\frac{(t_2 - t_1)}{\tau}} \quad (\text{pour la grande alternance}) \quad (\text{A.15})$$

$$A_1 = \frac{2\pi f}{\sin(2\pi f t_1)} \quad (\text{A.16})$$

$$A_2 = \frac{\frac{A_1 \sin(2\pi f t_2)}{0,75} - 2\pi f}{\sin(2\pi f (t_2 - t_1))} = \frac{\frac{0,75 \times A_1 \sin(2\pi f t_2)}{k_{af}} - 2\pi f}{\sin(2\pi f (t_2 - t_1))} \quad (\text{A.17})$$

où

$u_c$  est la crête de TTR en p.u du cas symétrique;

$k_{af}$  est le facteur d'amplitude;

$k_2$  est la variable de calcul;

$k_3$  est la variable de calcul;

– est l'indice utilisé pour désigner la petite alternance;

– est l'indice utilisé pour désigner la grande alternance;

$A_1$  est la variable de calcul;

$A_2$  est la variable de calcul;

$p$  est la composante continue au zéro de courant en p.u.;

$f$  est la fréquence (Hz);

$\tau$  est la constante de temps de la composante aperiodique du courant de court-circuit (s);

$t_1$  constitue la coordonnée de temps  $t_1$  spécifiée (s);

$t_2$  constitue la coordonnée de temps  $t_2$  spécifiée (s).

#### A.7.4 Exemples de calcul du rapport $di/dt$ et de la TTR

À titre d'exemple, les paramètres suivants sont pris en considération:

|                                                                               |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| – tension assignée:                                                           | 145 kV            |
| – fréquence assignée:                                                         | 50 Hz             |
| – courant de court-circuit assigné:                                           | 40 kA             |
| – constante de temps de la composante apériodique du courant de court-circuit | 45 ms             |
| – facteur assigné de premier pôle qui coupe:                                  | 1,3               |
| – durée minimale de coupure:                                                  | 43 ms             |
| – TTR (cas symétrique):                                                       |                   |
|                                                                               | $u_1$ 115 kV      |
|                                                                               | $t_1$ 58 $\mu$ s  |
|                                                                               | $u_c$ 215 kV      |
|                                                                               | $t_2$ 232 $\mu$ s |

Pour le premier pôle qui coupe (grande alternance), les paramètres suivants s'appliquent selon:

- Tableau A.7 le pourcentage de la composante continue au zéro de courant: 28,9 % (0,289 p.u.);
- Tableau A.7 le pourcentage du rapport  $di/dt$  au zéro de courant: 97,8 % (0,978 p.u.).

Certains disjoncteurs ne coupent pas à l'issue d'une grande alternance après la durée d'arc exigée. Pour la petite alternance de courant suivante, les paramètres suivants s'appliquent selon:

- Tableau A.7 le pourcentage de la composante continue au zéro de courant: 24,1 % (0,241 p.u.);
- Tableau A.7 le pourcentage du rapport  $di/dt$  au zéro de courant: 95,3 % (0,953 p.u.).

Les valeurs suivantes sont calculées à partir des équations précédentes:

$$k_{1-} = 0,017\ 41;$$

$$k_{1+} = 0,017\ 77;$$

$$A_1 = 17\ 242,33;$$

$$u_{1-} = 0,955\ 68\ \text{p.u.};$$

$$u_{1+} = 0,975\ 13\ \text{p.u.};$$

$$k_{2-} = 0,070\ 07;$$

$$k_{2+} = 0,070\ 43;$$

$$k_{3-} = 0,052\ 46;$$

$$k_{3+} = 0,052\ 99;$$

$$A_2 = 6\ 561,19;$$

$$u_{c-} = 0,964\ 81\ \text{p.u.};$$

$$u_{c+} = 0,964\ 19\ \text{p.u.}$$

Avec ces résultats, le rapport  $di/dt$  et la TTR modifiés résultants à appliquer au disjoncteur sont:

a) pour la grande alternance:

$$di/dt = 0,978\ \text{p.u.} \times 40\ \text{kA} \times \sqrt{2} \times 2\pi f = 17,38\ \text{A}/\mu\text{s};$$

$$u_1 = 0,975\ 13\ \text{p.u.} \times 115\ \text{kV} = 112\ \text{kV};$$

$$t_1 = 58\ \mu\text{s};$$

$$u_1/t_1 = 1,93\ \text{kV}/\mu\text{s}$$

$$u_c = 0,964\ 19\ \text{p.u.} \times 215\ \text{kV} = 207\ \text{kV};$$

$$t_2 = 232\ \mu\text{s}.$$

b) pour la petite alternance suivante:

$$di/dt = 0,953\ \text{p.u.} \times 40\ \text{kA} \times \sqrt{2} \times 2\pi f = 16,93\ \text{A}/\mu\text{s};$$

$$u_1 = 0,955\ 68\ \text{p.u.} \times 115\ \text{kV} = 110\ \text{kV};$$

$$t_1 = 58\ \mu\text{s};$$

$$u_1/t_1 = 1,89\ \text{kV}/\mu\text{s}$$

$$u_c = 0,964\ 81\ \text{p.u.} \times 215\ \text{kV} = 207\ \text{kV};$$

$$t_2 = 232\ \mu\text{s}.$$

## **Annexe B** (normative)

### **Tolérances sur les grandeurs d'essai lors des essais de type**

Au cours des essais de type, les tolérances suivantes peuvent être normalement distinguées:

- tolérances sur les grandeurs d'essai qui déterminent directement les contraintes appliquées à l'objet d'essai;
- tolérances sur les caractéristiques ou sur le comportement de l'objet d'essai avant et après l'essai;
- tolérances sur les conditions d'essai;
- tolérances sur les paramètres des dispositifs de mesure à utiliser.

Dans le Tableau B.1, seules les tolérances sur les grandeurs d'essai sont prises en considération.

Une tolérance est définie comme la plage de la valeur d'essai spécifiée dans le présent document à l'intérieur de laquelle il convient que la valeur d'essai mesurée se trouve pour qu'un essai soit valable. Dans certains cas, l'essai peut rester valable même si la valeur mesurée est hors tolérance.

Tout écart entre la valeur d'essai mesurée et la valeur d'essai vraie dû à l'incertitude de mesure n'est pas pris en compte à cet égard.

Les règles de base pour l'application des tolérances sur les grandeurs d'essai durant les essais de type sont les suivantes:

- a) les centres d'essais doivent tenter, dans toute la mesure du possible, d'obtenir les valeurs d'essai spécifiées;
- b) les tolérances sur les grandeurs d'essai spécifiées doivent être respectées par le centre d'essai. Il est permis d'appliquer au disjoncteur des contraintes plus élevées que celles admises par les tolérances spécifiées seulement avec l'accord du constructeur. Des contraintes moins élevées rendent l'essai invalide;
- c) lorsque le présent document ne spécifie aucune tolérance sur une grandeur d'essai quelle qu'elle soit, les tolérances de l'IEC 62271-100:20021 s'appliquent. Les limites supérieures des contraintes sont soumises à l'accord du constructeur;
- d) lorsque, pour toute grandeur d'essai quelle qu'elle soit, seule une limite est donnée, l'autre limite doit être considérée comme la plus proche possible de la valeur spécifiée.

Tableau B.1 – Tolérances sur les grandeurs d'essais lors des essais de type

| Identification de l'essai                       | Grandeur d'essai                                           | Valeur d'essai spécifiée                                                        | Tolérances d'essai/<br>limites des valeurs<br>d'essai |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Séquence d'essais de court-circuit fondamentale | dI/dt au zéro de courant pour T10 <sup>a</sup>             | 10 % de dI/dt au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit | ±20 %                                                 |
|                                                 | dI/dt au zéro de courant pour T30 <sup>a</sup>             | 30 % de dI/dt au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit | ±20 %                                                 |
|                                                 | dI/dt au zéro de courant pour T60 <sup>a</sup>             | 60 % de dI/dt au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit | ±10 %                                                 |
|                                                 | dI/dt au zéro de courant pour T100s et T100a <sup>a</sup>  | dI/dt au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit         | +5<br>0 %                                             |
| Essais au courant critique                      | dI/dt au zéro de courant <sup>a</sup>                      | dI/dt au zéro de courant du courant défini au 7.108.1.2 de l'IEC 62271-100:2021 | ±20 %                                                 |
| Essais de double défaut à la terre              | dI/dt au zéro de courant <sup>a</sup>                      | 87 % de dI/dt au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit | +5<br>0 %                                             |
| Démonstration des durées d'arc                  | Durée moyenne d'arc $t_{arc\ moy}$                         | Telle que définie en 7.104                                                      | ±1 ms                                                 |
|                                                 | Durée maximale d'arc $t_{arc\ max}$                        | Telle que définie en 7.104                                                      | +0,5<br>-1 ms                                         |
|                                                 | Durées d'arc                                               | Telles que définies en 7.104                                                    | ±1 ms                                                 |
|                                                 | Durée maximale d'arc du premier pôle qui coupe $t_{arc1}$  | Telle que définie en 7.104.2.2 et 7.104.3.3                                     | +0,5<br>-1 ms                                         |
|                                                 | Durée maximale d'arc du dernier pôle qui coupe $t_{arc2}$  | Telle que définie en 7.104.2.2 et 7.104.3.3                                     | +0,5<br>-1 ms                                         |
|                                                 | Durée maximale d'arc du deuxième pôle qui coupe $t_{arc3}$ | Telle que définie en 7.104.2.2 et 7.104.3.3                                     | +0,5<br>-1 ms                                         |

| Identification de l'essai                                     | Grandeur d'essai                                                                  | Valeur d'essai spécifiée                                                                | Tolérances d'essai/<br>limites des valeurs<br>d'essai |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Essais de défaut proche en ligne                              | Courant de coupure pour $L_{90}^a$                                                | 90 % du courant de court-circuit assigné                                                | 90 % à 95 %                                           |
|                                                               | $di/dr$ au zéro de courant pour $L_{90}^a$                                        | $di/dr$ au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit               | 90 % à 92 %                                           |
|                                                               | Vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement côté source pour $L_{90}$ | 90 % de la vitesse d'accroissement donnée dans le Tableau 30 de l'IEC 62271-100:2021    | +5<br>0 %                                             |
|                                                               | $di/dr$ au zéro de courant pour $L_{75}^a$                                        | $di/dr$ au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit               | 71 % à 79 %                                           |
|                                                               | Vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement côté source pour $L_{75}$ | 75 % de la vitesse d'accroissement donnée dans le Tableau 30 de l'IEC 62271-100:2021    | +5<br>0 %                                             |
|                                                               | $di/dr$ au zéro de courant pour $L_{60}^a$                                        | $di/dr$ au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit               | 55 % à 65 %                                           |
|                                                               | Vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement côté source pour $L_{60}$ | 60 % de la vitesse d'accroissement donnée dans le Tableau 30 de l'IEC 62271-100:2021    | +5<br>0 %                                             |
| Annexe D                                                      | Durée maximale d'arc du premier pôle qui coupe                                    | Telle que définie du Tableau D.1 au Tableau D.10                                        | +0,5<br>-1 ms                                         |
|                                                               | Durée moyenne d'arc                                                               | Telle que définie du Tableau D.1 au Tableau D.10                                        | ±1 ms                                                 |
|                                                               | Durée minimale d'arc du deuxième pôle qui coupe                                   | Telle que définie du Tableau D.1 au Tableau D.10                                        | ±1 ms                                                 |
|                                                               | Durée maximale d'arc du deuxième pôle qui coupe                                   | Telle que définie du Tableau D.1 au Tableau D.10                                        | +0,5<br>-1 ms                                         |
| Annexe E                                                      | Durée d'arc de Od pendant Od Cd Os                                                | Durée minimale d'arc du premier pôle qui coupe                                          | ±2 ms                                                 |
|                                                               | Durée maximale d'arc du premier pôle qui coupe                                    | Telle que définie du Tableau E.1 au Tableau E.11                                        | +0,5<br>-1 ms                                         |
|                                                               | Durée moyenne d'arc                                                               | Telle que définie du Tableau E.1 au Tableau E.11                                        | ±1 ms                                                 |
|                                                               | Durée minimale d'arc du deuxième pôle qui coupe                                   | Telle que définie du Tableau E.1 au Tableau E.11                                        | ±1 ms                                                 |
|                                                               | Durée maximale d'arc du deuxième pôle qui coupe                                   | Telle que définie du Tableau E.1 au Tableau E.11                                        | +0,5<br>-1 ms                                         |
|                                                               | Durée d'arc de Od pendant Od Cd Os                                                | Durée minimale d'arc du premier pôle qui coupe                                          | ±2 ms                                                 |
|                                                               | $di/dr$ au zéro de courant pour OP1 <sup>a</sup>                                  | $di/dr$ au zéro de courant à 30 % du pouvoir de coupure assigné en discordance de phase | ±20 %                                                 |
| Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases | $di/dr$ au zéro de courant pour OP2 <sup>a</sup>                                  | $di/dr$ au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en discordance de phase        | +10<br>0 %                                            |
| Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs   | Fréquence du courant de coupure                                                   | Fréquence assignée                                                                      | 45 Hz à 65 Hz                                         |

<sup>a</sup> Ces tolérances s'appliquent uniquement au circuit d'essai à injection de courant.

## **Annexe C**

(normative)

### **Indications à donner et résultats à enregistrer lors d'essais synthétiques**

#### **C.1 Généralités**

Outre les exigences spécifiées à l'Annexe C de l'IEC 62271-100:2021, les informations suivantes doivent être fournies dans les rapports d'essais synthétiques.

#### **C.2 Disjoncteur auxiliaire**

- a) Identification.
- b) Description, incluant le nombre d'unités par pôle, le fluide utilisé pour l'extinction et, le cas échéant, les condensateurs de répartition.

#### **C.3 Conditions d'essai**

- a) Paramètres des circuits d'essai.
- b) Ajustement de la durée d'arc recherchée pour le disjoncteur en essai, y compris l'utilisation de circuit(s) de réallumage.

#### **C.4 Grandeurs à enregistrer**

##### **C.4.1 Généralités**

La résolution des enregistrements de la déviation et de l'échelle de temps doit être telle que les informations à obtenir puissent être évaluées avec une exactitude suffisante.

##### **C.4.2 Tensions**

- a) Tension du circuit de courant.
- b) Tension aux bornes du disjoncteur en essai.
- c) Tension appliquée à l'enveloppe pour le disjoncteur en essai, le cas échéant.

##### **C.4.3 Courants**

- a) Courant traversant le disjoncteur en essai.
- b) Courant provenant du circuit de tension.

NOTE D'autres informations et enregistrements sont ajoutés pour obtenir des données d'essai ou de conception.

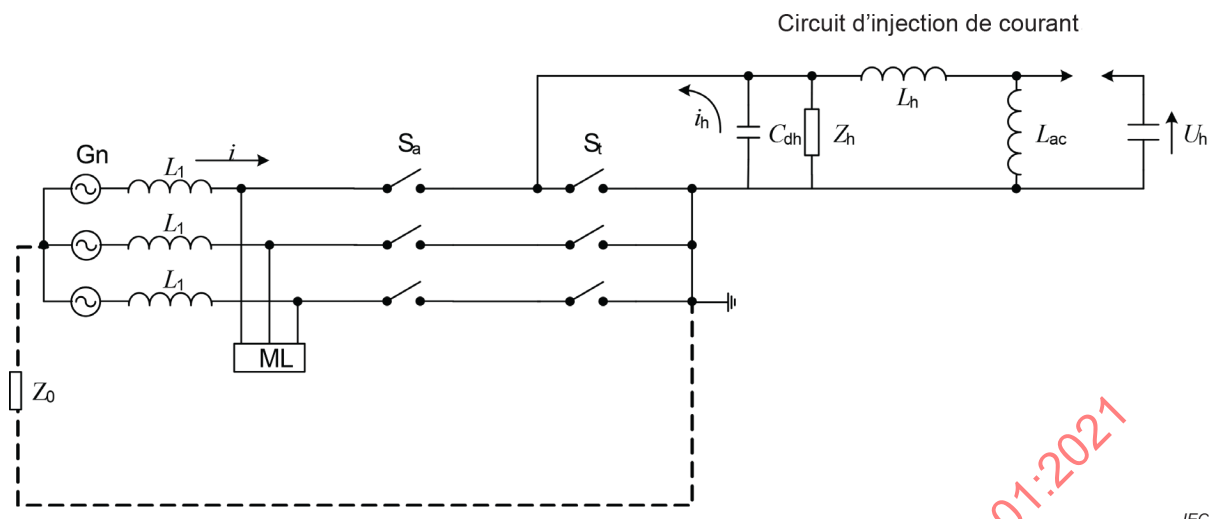
## Annexe D (normative)

### Procédure d'essai avec circuit de courant triphasé et un circuit de tension

#### D.1 Circuit d'essai

Le disjoncteur doit être connecté dans un circuit d'essai, dont un exemple est donné à la Figure D.1 avec les exigences suivantes.

- a) Un circuit de courant triphasé avec le point neutre de l'alimentation isolé et le point de court-circuit mis à la terre, tel que représenté à la Figure 27a de l'IEC 62271-100:2021. Cette configuration donne un facteur de premier pôle qui coupe de 1,5. En variante, le point neutre de l'alimentation peut être connecté à la terre par une impédance appropriée et le point de court-circuit mis à la terre, tel que représenté à la Figure 28a de l'IEC 62271-100:2021, pour donner un facteur de premier pôle qui coupe de 1,3.
- b) Un disjoncteur auxiliaire utilisé pour séparer le circuit de courant du circuit de tension.
- c) Un circuit de tension à injection de courant parallèle est représenté à la Figure 145 de l'IEC TR 62271-306:2012/AMD1:2018. Ce circuit est utilisé pour appliquer la TTR et la tension de rétablissement. Il est connecté entre le pôle qui représente le pôle qui coupe et la terre conformément aux exigences des procédures d'essai définies du Tableau D.1 au Tableau D.10. Il est possible de fournir la tension de rétablissement alternative à fréquence industrielle à l'aide d'une impédance supplémentaire,  $Z_{ac}$ .
- d) Circuits de réallumage connectés à chaque phase pour prolonger l'arc du disjoncteur en essai pendant le nombre nécessaire de zéros du courant à fréquence industrielle.



IEC

### Légende

|       |                                                                               |          |                                                                                        |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Gn    | circuit de courant triphasé                                                   | $Z_h$    | impédance d'onde équivalente du circuit de tension                                     |
| $S_a$ | disjoncteur auxiliaire                                                        | $C_{dh}$ | capacité pour le retard du circuit de tension                                          |
| $S_t$ | disjoncteur en essai                                                          | $L_h$    | inductance du circuit de tension                                                       |
| $Z_0$ | impédance au point neutre (lorsqu'un circuit avec $k_{pp} = 1,3$ est utilisé) | $U_h$    | tension de charge du circuit de tension                                                |
| $L_1$ | inductance du circuit de courant                                              | $i$      | courant du circuit de courant                                                          |
| ML    | circuit de réallumage multialternances                                        | $i_h$    | courant injecté                                                                        |
|       |                                                                               | $L_{ac}$ | réactance supplémentaire lorsqu'une tension de rétablissement alternative est demandée |

Le circuit de tension doit être connecté entre le premier ou le dernier pôle qui coupe et la terre.

**Figure D.1 – Exemple d'un circuit de courant triphasé avec une injection synthétique monophasée**

## D.2 Méthode d'essai

### D.2.1 Généralités

Une combinaison des facteurs de premier pôle qui coupe de 1,5 et 1,3 peut être exécutée, conformément au 7.104.3.4 de l'IEC 62271-100:2021, tout en séparant simultanément les séquences d'essais compte tenu de la TTR associée à chaque pôle qui coupe, selon D.2.4.

Cette séquence d'essai vise à démontrer au moins trois manœuvres satisfaisantes avec la TTR associée au même pôle.

### D.2.2 Séquence d'essais T100s(b)

Les procédures d'essais triphasés pour la démonstration des durées d'arc selon 7.104.3.2 de l'IEC 62271-100:2021 sont définies dans le Tableau D.1 et le Tableau D.2 pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,5 et dans le Tableau D.3 et le Tableau D.4 pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,3.

Il est reconnu que les essais du Tableau D.1 et du Tableau D.3 sont plus sévères que les essais triphasés, parce que la durée d'arc du dernier pôle qui coupe ou du deuxième pôle qui coupe est utilisée avec la TTR du premier pôle qui coupe. En variante, le constructeur peut choisir de diviser chaque séquence d'essais en deux ou trois séries d'essais différentes, pour une démonstration des durées d'arc conformément au 7.104.3.5 de l'IEC 62271-100:2021. Les procédures sont données dans le Tableau D.2 pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,5 et dans le Tableau D.4 pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,3. Pour les essais réalisés conformément au Tableau D.2 et au Tableau D.4, chaque série d'essais doit démontrer une coupure satisfaisante avec la durée d'arc (minimale, maximale et moyenne) pour chaque pôle qui coupe avec sa TTR associée. La remise en état du disjoncteur après chaque série d'essais est autorisée et doit satisfaire aux exigences du 7.102.9.6 de l'IEC 62271-100:2021.

Lorsqu'une défaillance se produit lors de la démonstration des durées maximale ou moyenne d'arc à l'aide de la procédure définie dans le Tableau D.1 ou le Tableau D.3, il est alors admissible de poursuivre les essais à l'aide de la procédure d'essai définie dans le Tableau D.2 ou le Tableau D.4. Dans ce cas, sous réserve qu'aucune remise en état du disjoncteur n'ait eu lieu, les essais qui démontrent la durée minimale d'arc sur le premier pôle qui coupe peuvent être omis.

Toutes les durées d'arc exigées peuvent être appliquées sur le même pôle avec la même polarité de la tension de rétablissement.

**Tableau D.1 – Démonstration des durées d'arc pour  $k_{pp} = 1,5$**

| Essai<br>n° | Séquence<br>d'essai <sup>a</sup> | Durée d'arc<br>(supplémentaire à $t_{\text{arc min}}$<br>du premier pôle qui<br>coupe pour la phase<br>soumise à la TTR) <sup>b</sup> | Condition<br>d'essai<br>(en référence au<br>réseau triphasé)                              | TTR                                                                |                                | Courant<br>injecté<br>$di/dt$<br>% |
|-------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
|             |                                  |                                                                                                                                       |                                                                                           | Application<br>(en référence au<br>circuit de courant<br>triphasé) | valeur<br>de " $u_c$ "<br>p.u. |                                    |
| 1           | Os                               | 0                                                                                                                                     | $t_{\text{arc min}}$ sur le<br>premier pôle qui<br>coupe                                  | premier pôle qui<br>coupe                                          | 1,0                            | 100                                |
| 2           | Os                               | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                                       | Réallumage<br>dans le premier<br>pôle qui coupe<br>pour confirmer<br>$t_{\text{arc min}}$ | premier pôle qui<br>coupe                                          | 1,0                            | 100                                |
| 3           | Od- $t$ -CdOs                    | $T \times 132^\circ / 360^\circ$<br><br>( $T \times 42^\circ / 360^\circ$<br>relative au premier<br>pôle qui coupe)                   | $t_{\text{arc max}}$ sur le<br>dernier pôle qui<br>coupe <sup>c</sup>                     | dernier pôle qui<br>coupe avec une<br>alternance<br>rallongée      | 1,0                            | 100                                |
| 4           | CdOs                             | $T \times 66^\circ / 360^\circ$                                                                                                       | $t_{\text{arc mpy}}^c$                                                                    | premier pôle qui<br>coupe                                          | 1,0                            | 100                                |

Démonstration des durées d'arc selon 7.104.3.2 de l'IEC 62271-100:2021.

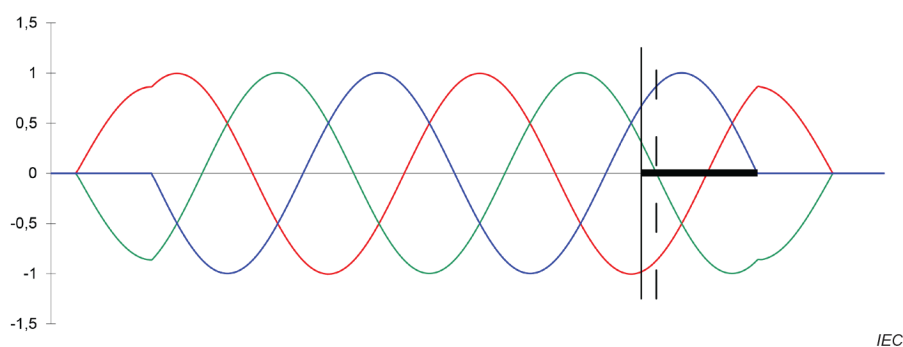
Fenêtre de coupure selon la Figure 41 de l'IEC 62271-100:2021.

La Figure D.2 donne une représentation des conditions d'essai.

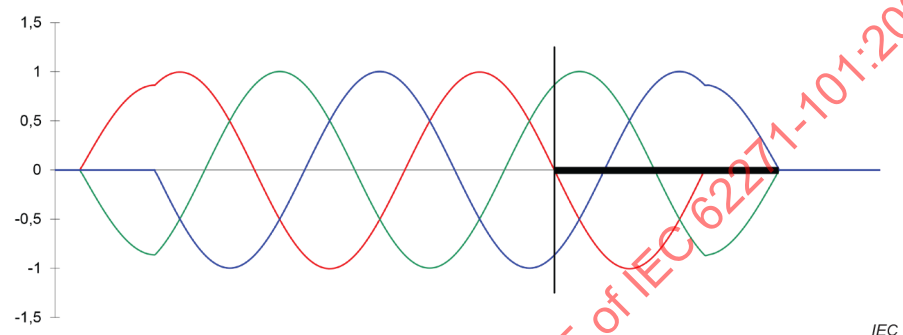
<sup>a</sup> Les termes abrégés sont conformes au Tableau 6.

<sup>b</sup> Où  $d\alpha = 18^\circ$ .

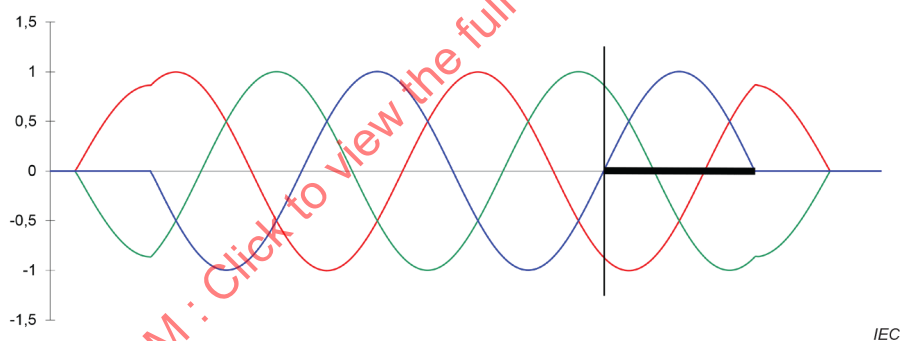
<sup>c</sup> Les durées d'arc relatives aux essais 3 et 4 peuvent être interchangeables.



**Essai n° 1 et 2: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe**



**Essai n° 3: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée**



**Essai n° 4: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe**

**Figure D.2 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.1**

**Tableau D.2 – Démonstration alternative des durées d'arc pour  $k_{pp} = 1,5$**

| Essai n° | Séquence d'essai <sup>a</sup> | Durée d'arc<br>(supplémentaire à $t_{\text{arc min}}$ du premier pôle qui coupe pour la phase soumise à la TTR) <sup>b</sup> | Condition d'essai<br>(en référence au réseau triphasé)                                  | TTR                                                          |                         | Courant injecté $dI/dt$ % |
|----------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
|          |                               |                                                                                                                              |                                                                                         | Application<br>(en référence au circuit de courant triphasé) | valeur de $u_c$<br>p.u. |                           |
| 1        | Os                            | 0                                                                                                                            | $t_{\text{arc min}}$ sur le premier pôle qui coupe                                      | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | 100                       |
| 2        | Os                            | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                              | Réallumage dans le premier pôle qui coupe pour confirmer la valeur $t_{\text{arc min}}$ | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | 100                       |
| 3        | Od- $t$ -CdOs                 | $T \times 42^\circ / 360^\circ$                                                                                              | $t_{\text{arc max}}$ sur le premier pôle qui coupe                                      | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | 100                       |
| 4        | Os                            | $T \times 90^\circ / 360^\circ$                                                                                              | $t_{\text{arc min}}$ sur le dernier pôle qui coupe                                      | dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée         | 0,58                    | 87                        |
| 5        | CdOs                          | $T \times 132^\circ / 360^\circ$                                                                                             | $t_{\text{arc max}}$ sur le dernier pôle qui coupe                                      | dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée         | 0,58                    | 87                        |

Démonstration des durées d'arc selon 7.104.3.5 de l'IEC 62271-100:2021.

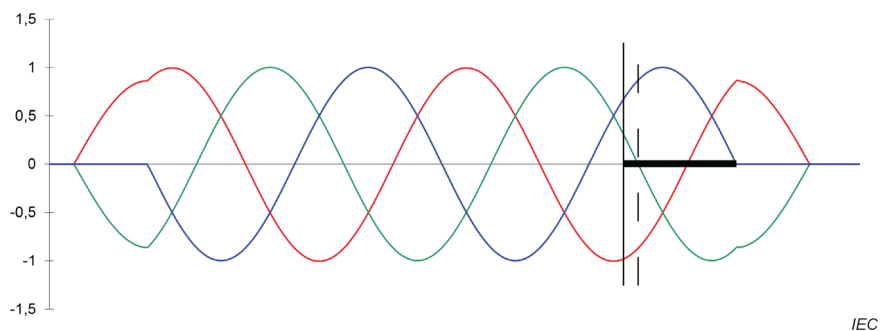
Fenêtre de coupure selon la Figure 41 de l'IEC 62271-100:2021.

En cas de défaillance au cours de l'essai 5, le disjoncteur peut être remis en état et les essais 3 à 5 doivent être répétés. La série d'essais est satisfaisante si aucune autre défaillance ne se produit.

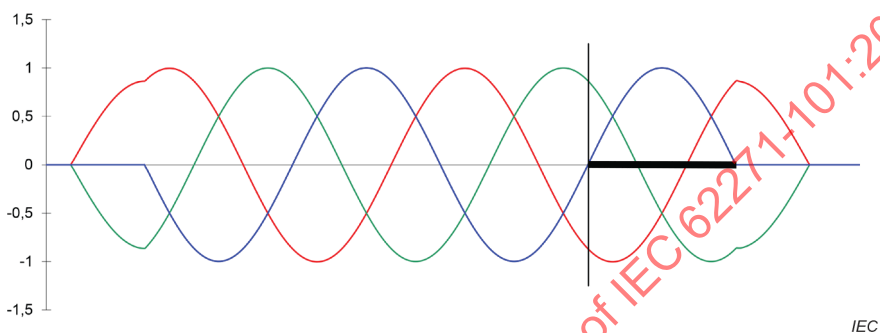
La Figure D.3 donne une représentation des conditions d'essai.

<sup>a</sup> Les termes abrégés sont conformes au Tableau 6.

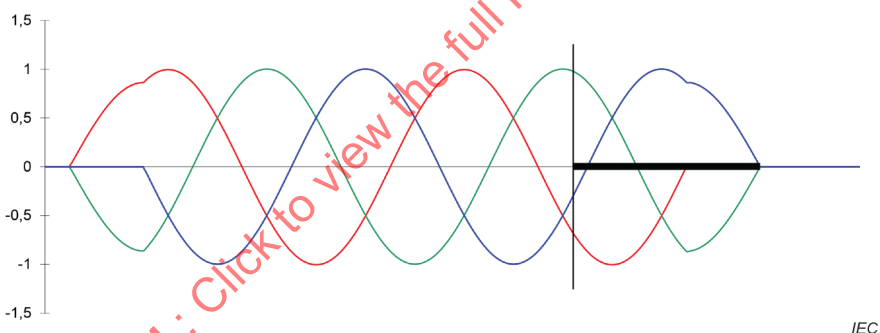
<sup>b</sup> Où  $d\alpha = 18^\circ$



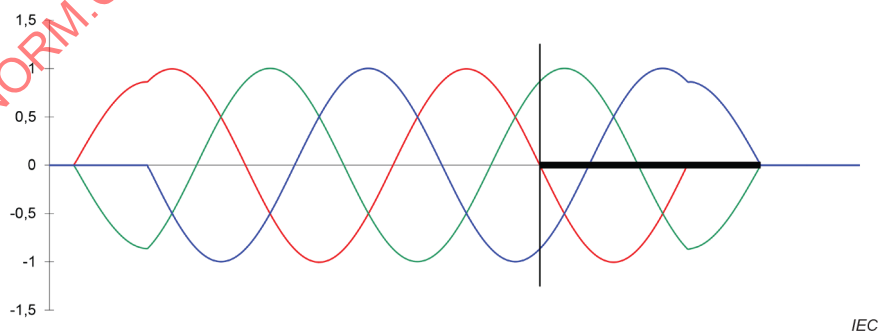
**Essais n° 1 et 2: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe**



**Essai n° 3: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe**



**Essai n° 4: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée**



**Essai n° 5: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée**

**Figure D.3 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.2**

**Tableau D.3 – Démonstration des durées d'arc pour  $k_{pp} = 1,3$**

| Essai<br>n° | Séquence<br>d'essai <sup>a</sup> | Durée d'arc<br>(supplémentaire à<br>$t_{\text{arc min}}$ du premier<br>pôle qui coupe pour<br>la phase soumise à<br>la TTR) <sup>b</sup> | Condition d'essai<br>(en référence au<br>réseau triphasé)                                           | TTR                                                                   |                            | Courant<br>injecté<br>$di/dr$<br>% |
|-------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
|             |                                  |                                                                                                                                          |                                                                                                     | Application<br>(en référence au<br>circuit de<br>courant<br>triphasé) | valeur<br>de $u_c$<br>p.u. |                                    |
| 1           | Os                               | 0                                                                                                                                        | $t_{\text{arc min}}$ sur le<br>premier pôle qui<br>coupe                                            | premier pôle qui<br>coupe                                             | 1,0                        | 100                                |
| 2           | Os                               | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                                          | Réallumage dans le<br>premier pôle qui<br>coupe pour<br>confirmer la valeur<br>$t_{\text{arc min}}$ | premier pôle qui<br>coupe                                             | 1,0                        | 100                                |
| 3           | Od- $t$ -CdOs                    | $T \times 162^\circ / 360^\circ$<br><br>( $T \times 42^\circ / 360^\circ$<br>relative au premier<br>pôle qui coupe)                      | $t_{\text{arc max}}$ sur le<br>troisième pôle qui<br>coupe <sup>c</sup>                             | troisième pôle<br>qui coupe                                           | 1,0                        | 100                                |
| 4           | CdOs                             | $T \times 81^\circ / 360^\circ$<br><br>( $T \times 4^\circ / 360^\circ$<br>relative au premier<br>pôle qui coupe)                        | $t_{\text{arc mpy}}^c$                                                                              | deuxième pôle<br>qui coupe                                            | 1,0                        | 100                                |

Démonstration des durées d'arc selon 7.104.3.2 de l'IEC 62271-100:2021.

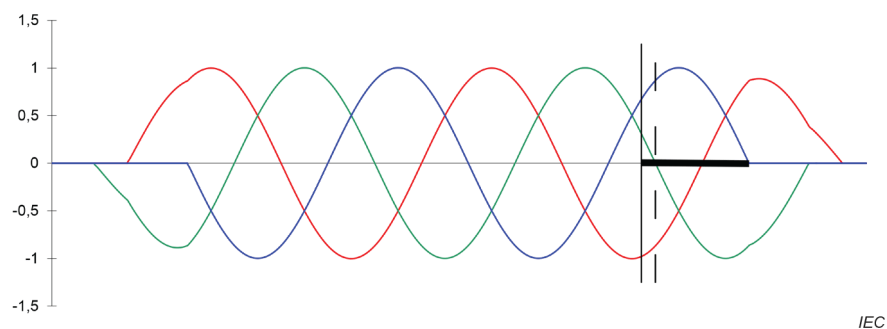
Fenêtre de coupure selon la Figure 40 de l'IEC 62271-100:2021.

La Figure D.4 donne une représentation des conditions d'essai.

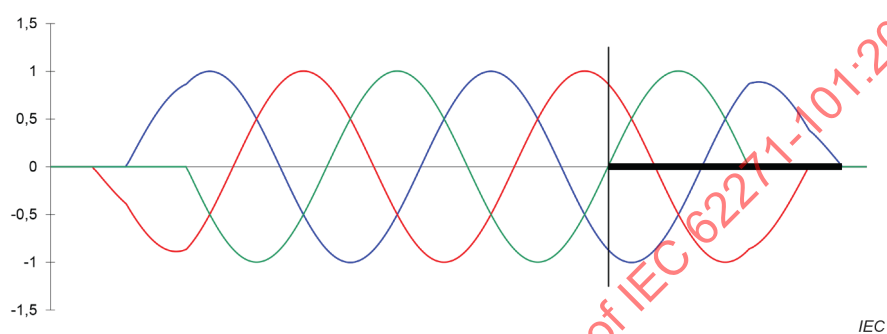
<sup>a</sup> Les termes abrégés sont conformes au Tableau 6.

<sup>b</sup> Où  $d\alpha = 18^\circ$ .

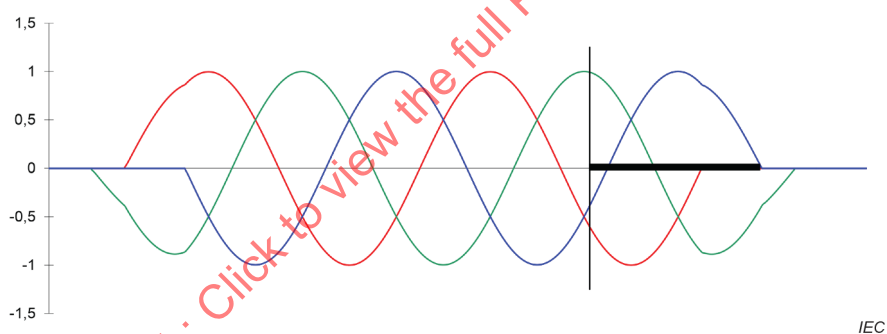
<sup>c</sup> Les durées d'arc relatives aux essais 3 et 4 peuvent être interchangées.



**Essai n° 1 et 2: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe**



**Essai n° 3: Application de la TTR sur le troisième pôle qui coupe**



**Essai n° 4: Application de la TTR sur le deuxième pôle qui coupe**

**Figure D.4 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.3**

**Tableau D.4 – Démonstration alternative des durées d'arc pour  $k_{pp} = 1,3$**

| Essai n° | Séquence d'essai <sup>a</sup> | Durée d'arc<br>(supplémentaire à $t_{arc\ min}$ du premier pôle qui coupe pour la phase soumise à la TTR) <sup>b</sup> | Condition d'essai<br>(en référence au réseau triphasé)                  | TTR                                                          |                         | Courant injecté<br>( $di/dr$ )<br>% |
|----------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
|          |                               |                                                                                                                        |                                                                         | Application<br>(en référence au circuit de courant triphasé) | valeur de $u_c$<br>p.u. |                                     |
| 1        | Os                            | 0                                                                                                                      | $t_{arc\ min}$ sur le premier pôle qui coupe                            | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | 100                                 |
| 2        | Os                            | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                        | Réallumage dans le premier pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc\ min}$ | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | 100                                 |
| 3        | (Cd)Os                        | $T \times 42^\circ / 360^\circ$                                                                                        | $t_{arc\ max}$ sur le premier pôle qui coupe                            | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | 100                                 |
| 4        | Od- $t$ -CdOs                 | $T \times 77^\circ / 360^\circ$                                                                                        | $t_{arc\ min}$ sur le deuxième pôle qui coupe <sup>c</sup>              | deuxième pôle qui coupe                                      | 0,97                    | 89                                  |
| 5        | CdOs                          | $T \times 119^\circ / 360^\circ$                                                                                       | $t_{arc\ max}$ sur le deuxième pôle qui coupe <sup>c</sup>              | deuxième pôle qui coupe                                      | 0,97                    | 89                                  |
| 6        | (Cd)Os                        | $T \times 162^\circ / 360^\circ$                                                                                       | $t_{arc\ max}$ sur le troisième pôle qui coupe                          | troisième pôle qui coupe                                     | 0,77                    | 57                                  |

Démonstration des durées d'arc selon 7.104.3.5 de l'IEC 62271-100:2021.

Fenêtre de coupure selon la Figure 40 de l'IEC 62271-100:2021.

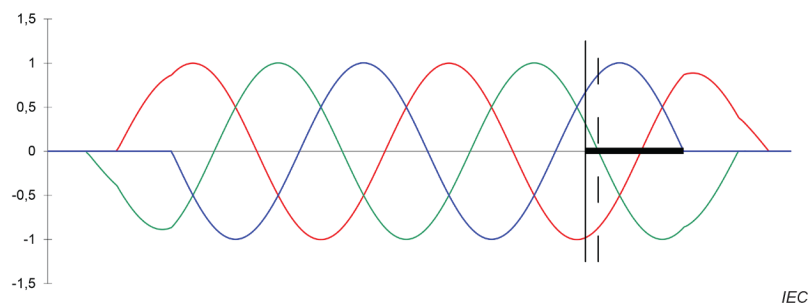
La Figure D.5 donne une représentation des conditions d'essai.

En cas de défaillance au cours de l'essai 5 ou 6, le disjoncteur peut être remis en état et les essais 4 à 6 doivent être répétés. La série d'essais est satisfaisante si aucune autre défaillance ne se produit.

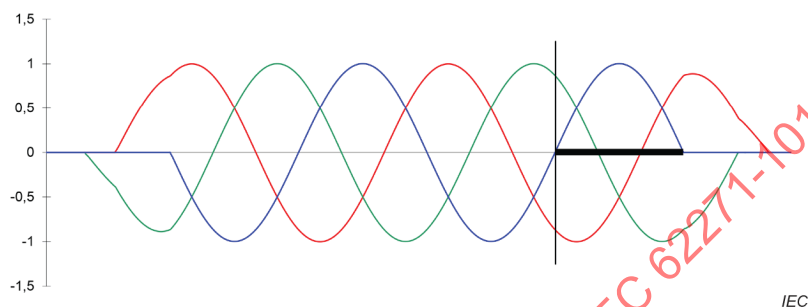
<sup>a</sup> Les termes abrégés sont conformes au Tableau 6.

<sup>b</sup> Où  $d\alpha = 18^\circ$ .

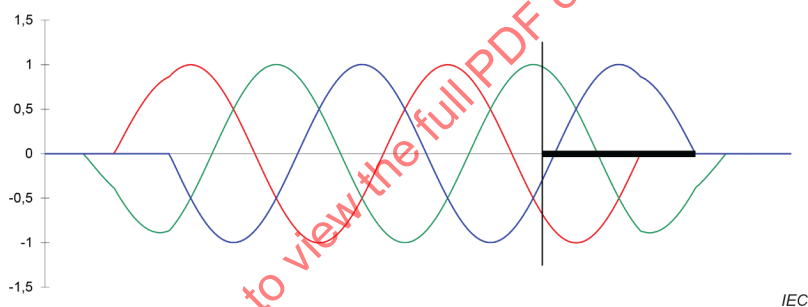
<sup>c</sup> Les durées d'arc relatives aux essais 4 et 5 peuvent être interchangées.



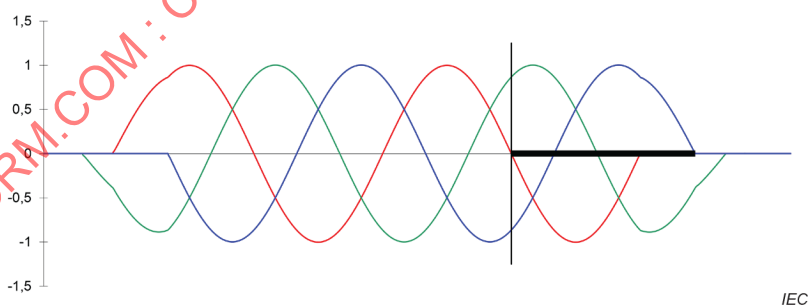
**Essai n° 1 et 2: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe**



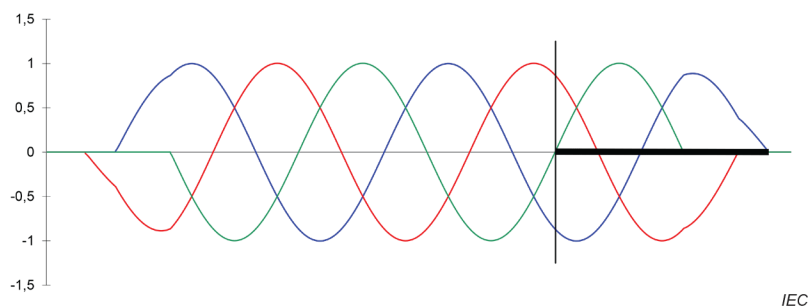
**Essai n° 3: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe**



**Essai n° 4: Application de la TTR sur le deuxième pôle qui coupe**



**Essai n° 5: Application de la TTR sur le deuxième pôle qui coupe**



**Essai n° 6: Application de la TTR sur le troisième pôle qui coupe**

**Figure D.5 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.4**

### D.2.3 Séquence d'essai T100a

La procédure d'essais triphasés pour la démonstration des durées d'arc selon 7.104.2.2 est donnée dans le Tableau D.5 et le Tableau D.6 pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,5 et dans le Tableau D.7 et le Tableau D.8 pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,3.

Il est reconnu que les essais du Tableau D.5 et du Tableau D.7 sont plus sévères que les essais triphasés, parce que la durée d'arc du dernier pôle qui coupe ou du deuxième pôle qui coupe est utilisée avec la TTR du premier pôle qui coupe. En variante, le constructeur peut choisir de diviser chaque séquence d'essais en deux ou trois séries d'essais différentes, pour une démonstration des durées d'arc conformément au 7.104.3.5 de l'IEC 62271-100:2021. Les procédures sont données dans le Tableau D.6 pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,5 et dans le Tableau D.8 pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,3. Pour les essais réalisés conformément au Tableau D.6 et au Tableau D.8, chaque série d'essais doit démontrer une coupure satisfaisante avec la durée minimale et maximale d'arc pour chaque pôle qui coupe avec sa TTR associée. La remise en état du disjoncteur après chaque série d'essais est autorisée et doit satisfaire aux exigences du 7.102.9.6 de l'IEC 62271-100:2021.

Lorsqu'une défaillance se produit lors de la démonstration de la durée maximale d'arc sur le deuxième ou le dernier pôle qui coupe à l'aide de la procédure du Tableau D.5 ou du Tableau D.7, il est alors admissible de poursuivre les essais à l'aide de la procédure définie dans le Tableau D.6 ou le Tableau D.8. Dans ce cas, sous réserve qu'aucune remise en état du disjoncteur n'ait eu lieu, les essais qui démontrent la durée minimale et maximale d'arc sur le premier pôle qui coupe peuvent être omis.

Pour éviter de modifier la connexion du circuit haute tension entre les essais sur les premier, deuxième et troisième pôles qui coupent, toutes les durées d'arc exigées peuvent être appliquées sur le même pôle avec la même polarité de la tension de rétablissement.

**Tableau D.5 – Démonstration des durées d'arc pour  $k_{pp} = 1,5$**

| Essai n° | Séquence d'essai | Condition d'asymétrie                                                      | Durée d'arc (supplémentaire à $t_{arc\ min}$ du premier pôle qui coupe pour la phase soumise à la TTR) <sup>a</sup> | Condition d'essai (en référence au réseau triphasé)                                                                                                                          | TTR                                                       |                      | Courant injecté ( $di/dt$ ) %          |
|----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------|
|          |                  |                                                                            |                                                                                                                     |                                                                                                                                                                              | Application (en référence au circuit de courant triphasé) | valeur de $u_c$ p.u. |                                        |
| 1        | Os               | Grande alternance intermédiaire (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 7 et 8) | 0                                                                                                                   | $t_{arc\ min}$ sur le premier pôle qui coupe<br><br>Asymétrie exigée sur le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée                                      | premier pôle qui coupe                                    | 1,0                  | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 9)  |
| 2        | Os               | Grande alternance intermédiaire (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 7 et 8) | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                     | Réallumage dans le premier pôle qui coupe pour confirmer la valeur $t_{arc\ min}$<br><br>Asymétrie exigée sur le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée | premier pôle qui coupe                                    | 1,0                  | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 9)  |
| 3        | Os               | Grande alternance – assignée (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 3 et 4)    | $\Delta t_{a1} - T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                      | $t_{arc1}$ avec une grande alternance et asymétrie exigée sur le premier pôle qui coupe                                                                                      | premier pôle qui coupe                                    | 1,0                  | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 5)  |
| 4        | Os               | Grande alternance – assignée (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 10 et 11)  | $\Delta t_{a2} - T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                      | $t_{arc2}$ et asymétrie exigée sur le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée                                                                            | dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée      | 1,0                  | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 12) |

La Figure D.6 donne une représentation des conditions d'essai.

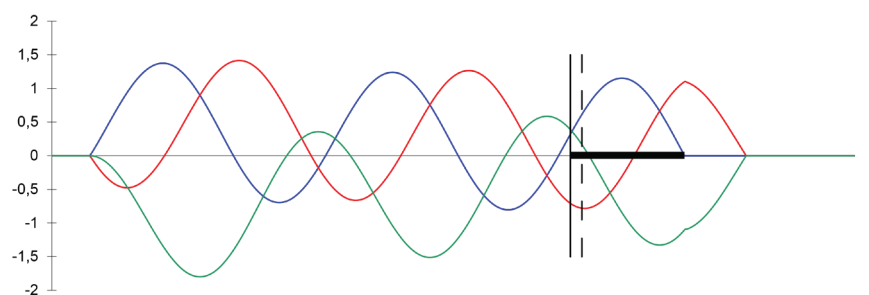
Les valeurs de réduction de la TTR due à l'asymétrie sont données à l'Annexe A.

<sup>a</sup> Où

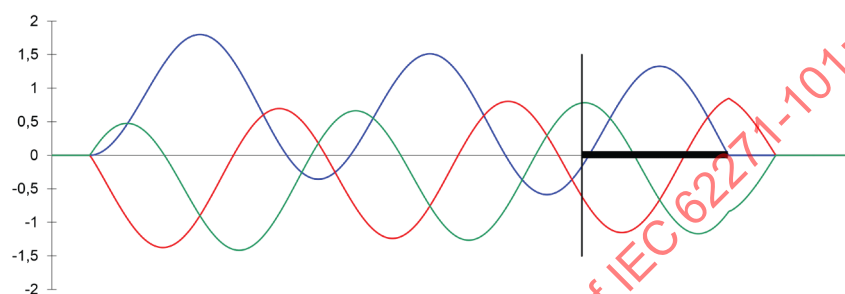
$\Delta t_{a1}$  est le paramètre approprié à choisir dans la colonne 6 du Tableau E.12 ou du Tableau E.15;

$\Delta t_{a2}$  est le paramètre approprié à choisir dans la colonne 14 du Tableau E.12 ou du Tableau E.15;

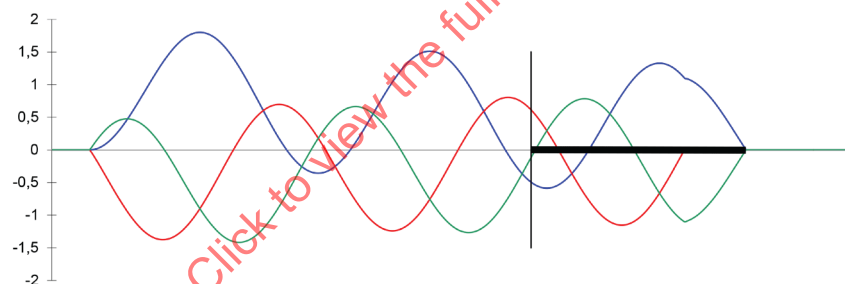
$d\alpha = 18^\circ$ .



IEC

**Essai n° 1 et 2: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe**

IEC

**Essai n° 3: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe avec une grande alternance**

IEC

**Essai n° 4: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée****Figure D.6 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.5**

**Tableau D.6 – Démonstration alternative des durées d'arc pour  $k_{pp} = 1,5$** 

| Essai n° | Séquence d'essai | Condition d'asymétrie                                                        | Durée d'arc<br>(supplémentaire $t_{arc \min}$ du premier pôle qui coupe pour la phase soumise à la TTR) <sup>a</sup> | Condition d'essai<br>(en référence au réseau triphasé)                                                                                                                       | TTR                                                          |                         | Circuit injecté<br>(di/dt)<br>%        |
|----------|------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|
|          |                  |                                                                              |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                              | Application<br>(en référence au circuit de courant triphasé) | valeur de $u_c$<br>p.u. |                                        |
| 1        | Os               | Grande alternance – intermédiaire (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 7 et 8) | 0                                                                                                                    | $t_{arc \min}$ sur le premier pôle qui coupe<br><br>Asymétrie exigée sur le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée                                      | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 9)  |
| 2        | Os               | Grande alternance – intermédiaire (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 7 et 8) | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                      | Réallumage dans le premier pôle qui coupe pour confirmer la valeur $t_{arc \min}$<br><br>Asymétrie exigée sur le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 9)  |
| 3        | Os               | Grande alternance – assignée (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 3 et 4)      | $\Delta t_{a1} - T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                       | $t_{arc1}$ avec une grande alternance et asymétrie exigée sur le premier pôle qui coupe                                                                                      | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 5)  |
| 4        | Os               | Grande alternance – assignée (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 10 et 11)    | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 13)                                                                               | $t_{arc \min}$ sur le dernier pôle qui coupe et avec une asymétrie exigée sur le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée                                 | dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée         | 0,58                    | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 12) |
| 5        | Os               | Grande alternance – assignée (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 10 et 11)    | $\Delta t_{a2} - T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                       | $t_{arc2}$ et asymétrie exigée sur le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée                                                                            | dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée         | 0,58                    | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 12) |

La Figure D.7 donne une représentation des conditions d'essai.

Les valeurs de réduction de la TTR due à l'asymétrie sont données à l'Annexe A.

Si les essais sont réalisés après une défaillance de l'essai 4 du Tableau D.5 et qu'aucune remise en état du disjoncteur n'a été effectuée, les essais peuvent alors se poursuivre à partir de l'essai 4 du Tableau D.6.

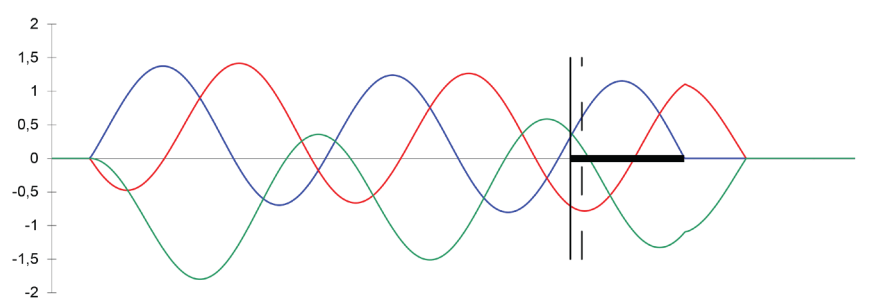
En cas de défaillance au cours de l'essai 5, le disjoncteur peut être remis en état et les essais 3 à 5 doivent être répétés. La série d'essais est satisfaisante si aucune autre défaillance ne se produit.

<sup>a</sup> Où

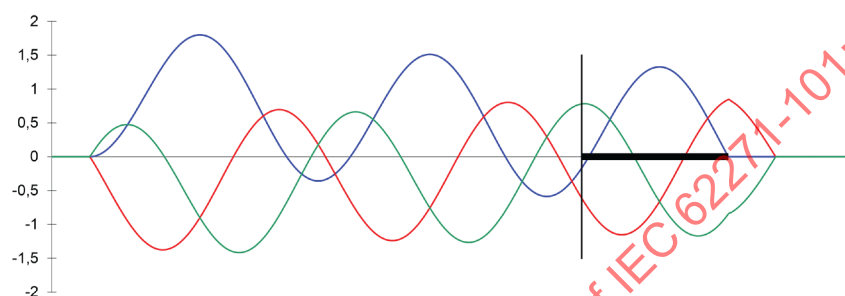
$\Delta t_{a1}$  est le paramètre approprié à choisir dans la colonne 6 du Tableau E.12 ou du Tableau E.15;

$\Delta t_{a2}$  est le paramètre approprié à choisir dans la colonne 14 du Tableau E.12 ou du Tableau E.15;

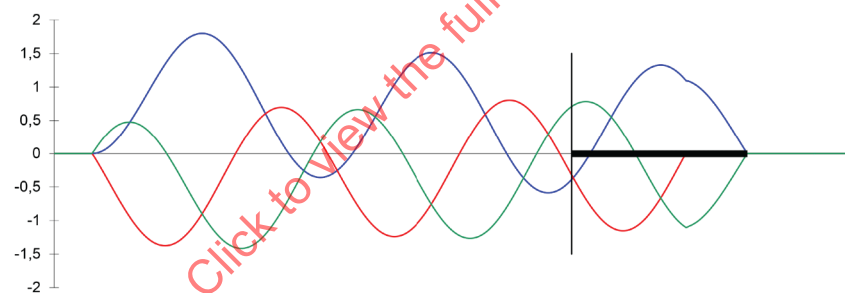
$d\alpha = 18^\circ$ .



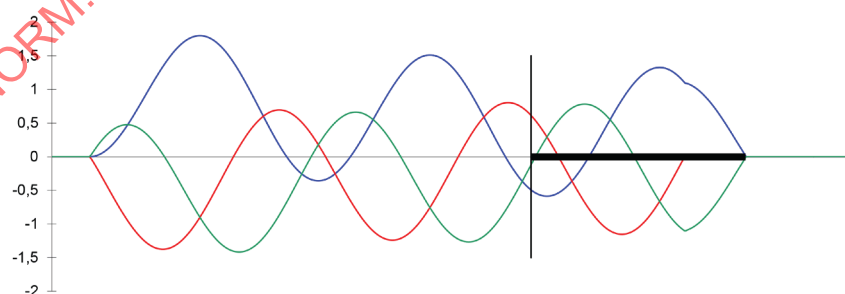
IEC

**Essai n° 1 et 2: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe**

IEC

**Essai n° 3: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe avec une grande alternance**

IEC

**Essai n° 4: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée**

IEC

**Essai n° 5: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée****Figure D.7 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.6**

**Tableau D.7 – Démonstration des durées d'arc pour  $k_{pp} = 1,3$**

| Essai n° | Séquence d'essai | Condition d'asymétrie                                                        | Durée d'arc<br>(supplémentaire à $t_{\text{arc min}}$ du premier pôle qui coupe pour la phase soumise à la TTR) <sup>a</sup> | Condition d'essai<br>(en référence au réseau triphasé)                                                                                                                              | TTR                                                          |                         | Courant injecté<br>( $d_i/d_r$ )<br>%  |
|----------|------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|
|          |                  |                                                                              |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                     | Application<br>(en référence au circuit de courant triphasé) | valeur de $u_c$<br>p.u. |                                        |
| 1        | Os               | Grande alternance – intermédiaire (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 7 et 8) | 0                                                                                                                            | $t_{\text{arc min}}$ sur le premier pôle qui coupe<br><br>Asymétrie exigée sur le deuxième pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée                                      | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 9)  |
| 2        | Os               | Grande alternance – intermédiaire (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 7 et 8) | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                              | Réallumage dans le premier pôle qui coupe pour confirmer la valeur $t_{\text{arc min}}$<br><br>Asymétrie exigée sur le deuxième pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 9)  |
| 3        | Os               | Grande alternance – assignée (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 3 et 4)      | $\Delta t_{a1} - T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                               | $t_{\text{arc1}}$ avec une grande alternance et asymétrie exigée sur le premier pôle qui coupe                                                                                      | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 5)  |
| 4        | Os               | Grande alternance – assignée (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 10 et 11)    | $\Delta t_{a3} - T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                               | $t_{\text{arc3}}$ et asymétrie exigée sur le deuxième pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée                                                                           | deuxième pôle qui coupe                                      | 1,0                     | (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 12) |

La Figure D.8 donne une représentation des conditions d'essai.

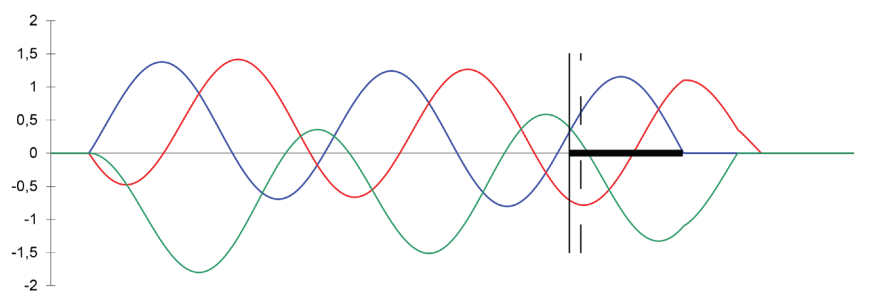
Les valeurs de réduction de la TTR due à l'asymétrie sont données à l'Annexe A.

<sup>a</sup> Où

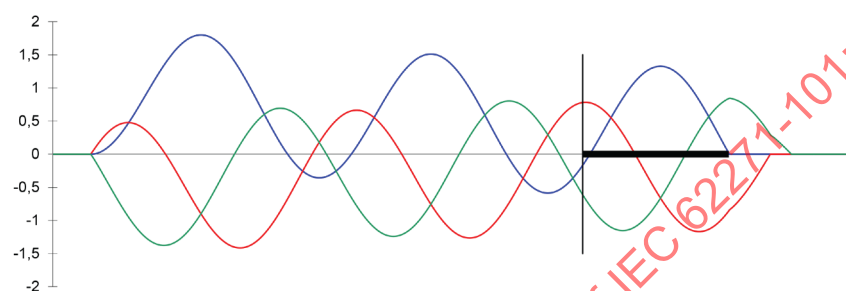
$\Delta t_{a1}$  est le paramètre approprié à choisir dans la colonne 6 du Tableau E.13 ou du Tableau E.16;

$\Delta t_{a3}$  est le paramètre approprié à choisir dans la colonne 14 du Tableau E.13 ou du Tableau E.16;

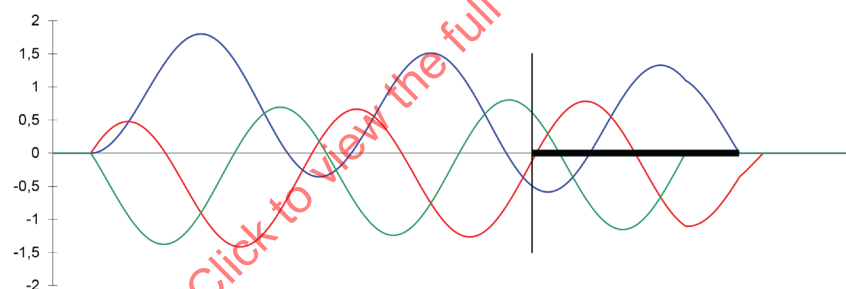
$d\alpha = 18^\circ$



IEC

**Essais n° 1 et 2: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe**

IEC

**Essai n° 3: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe avec une grande alternance**

IEC

**Essai n° 4: Application de la TTR sur le deuxième pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée****Figure D.8 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.7**

**Tableau D.8 – Démonstration alternative des durées d'arc pour  $k_{pp} = 1,3$** 

| Essai n° | Séquence d'essai | Condition d'asymétrie                                                        | Durée d'arc<br>(supplémentaire à $t_{arc\ min}$ du premier pôle qui coupe pour la phase soumise à la TTR) <sup>a</sup> | Condition d'essai<br>(en référence au réseau triphasé)                                                                                                                                    | TTR                                                          |                         | Courant injecté<br>( $dI/dt$ )<br>%    |
|----------|------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|
|          |                  |                                                                              |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                           | Application<br>(en référence au circuit de courant triphasé) | valeur de $u_c$<br>p.u. |                                        |
| 1        | Os               | Grande alternance intermédiaire (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 7 et 8)   | 0                                                                                                                      | $t_{arc\ min}$ sur le premier pôle qui coupe<br>Asymétrie exigée sur le deuxième pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée                                                      | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 9)  |
| 2        | Os               | Grande alternance – intermédiaire (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 7 et 8) | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                        | Réallumage dans le premier pôle qui coupe pour confirmer le premier pôle qui coupe $t_{arc\ min}$<br>Asymétrie exigée sur le deuxième pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 9)  |
| 3        | Os               | Grande alternance – assignée (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 3 et 4)      | $\Delta t_{a1} - T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                         | $t_{arc1}$ avec une grande alternance et asymétrie exigée sur le premier pôle qui coupe                                                                                                   | premier pôle qui coupe                                       | 1,0                     | (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 5)  |
| 4        | Os               | Grande alternance – assignée (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 10 et 11)    | (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 13)                                                                                 | $t_{arc\ min}$ et asymétrie exigée sur le deuxième pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée                                                                                    | deuxième pôle qui coupe                                      | 0,97                    | (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 12) |
| 5        | Os               | Grande alternance – assignée (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 10 et 11)    | $\Delta t_{a3} - T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                         | $t_{arc3}$ et asymétrie exigée sur le deuxième pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée                                                                                        | deuxième pôle qui coupe                                      | 0,97                    | (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 12) |

La Figure D.9 donne une représentation des conditions d'essai.

Les valeurs de réduction de la TTR due à l'asymétrie sont données à l'Annexe A.

Si les essais sont réalisés après une défaillance de l'essai 4 du Tableau D.7 et qu'aucune remise en état du disjoncteur n'a été effectuée, les essais peuvent alors se poursuivre à partir de l'essai 4 du Tableau D.8.

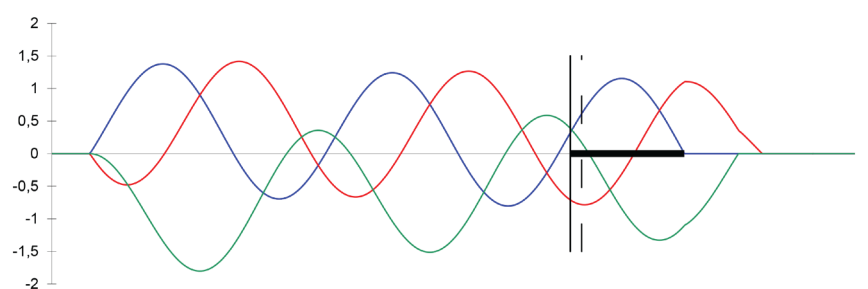
En cas de défaillance au cours de l'essai 5, le disjoncteur peut être remis en état et les essais 3 à 5 doivent être répétés. La série d'essais est satisfaisante si aucune autre défaillance ne se produit.

<sup>a</sup> Où

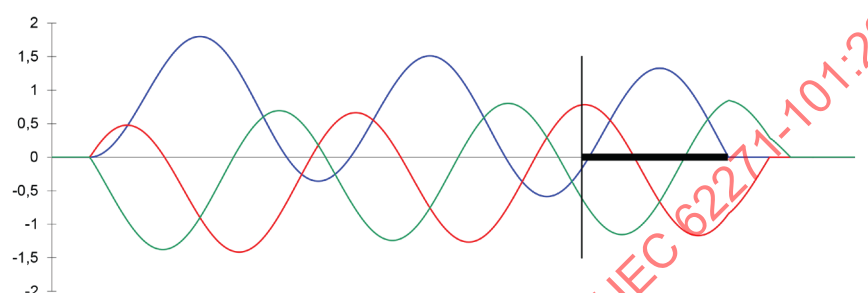
$\Delta t_{a1}$  est le paramètre approprié à choisir dans la colonne 6 du Tableau E.13 ou du Tableau E.16;

$\Delta t_{a3}$  est le paramètre approprié à choisir dans la colonne 14 du Tableau E.13 ou du Tableau E.16;

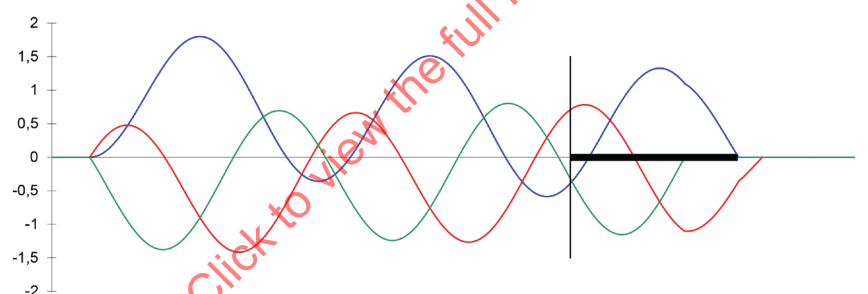
$d\alpha = 18^\circ$ .



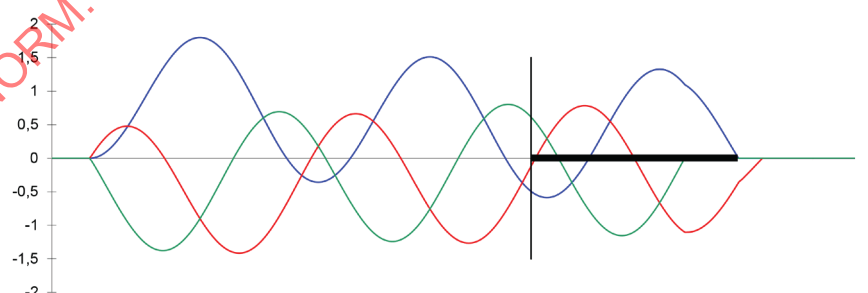
IEC

**Essai n° 1 et 2: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe**

IEC

**Essai n° 3: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe avec une grande alternance**

IEC

**Essai n° 4: Application de la TTR sur le deuxième pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée**

IEC

**Essai n° 5: Application de la TTR sur le deuxième pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée****Figure D.9 – Représentation des conditions d'essai du Tableau D.8**

## D.2.4 Combinaison des facteurs de premier pôle qui coupe 1,3 et 1,5

### D.2.4.1 Généralités

Il est reconnu que certaines des conditions d'essai sont plus sévères que celles indiquées dans les tableaux pour le facteur de premier pôle qui coupe respectif. Cependant, tous les essais indiqués dans le Tableau D.9 et le Tableau D.10 doivent être réalisés afin de maintenir l'équivalence avec les essais spécifiés dans le présent document pour chaque séquence d'essai.

### D.2.4.2 Séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s(b)

Les essais correspondants figurent dans le Tableau D.9.

**Tableau D.9 – Procédure de combinaison de  $k_{pp} = 1,5$  et 1,3 pour les séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s(b)**

| Essai n° | Séquence d'essai <sup>a</sup> | Durée d'arc (supplémentaire à $t_{arc\ min}$ du premier pôle qui coupe pour la phase soumise à la TTR) <sup>b</sup> | Condition d'essai (en référence au réseau triphasé)                                                                        | TTR                                                       |                      |                          | Courant injecté ( $di/dt$ ) % |
|----------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|
|          |                               |                                                                                                                     |                                                                                                                            | Application (en référence au circuit de courant triphasé) | valeur de $u_c$ p.u. | $u_c$ fondé sur $k_{pp}$ |                               |
| 1        | Os                            | 0                                                                                                                   | $t_{arc\ min}$ sur le premier pôle qui coupe ( $k_{pp} = 1,3$ et 1,5)                                                      | premier pôle qui coupe                                    | 1,0                  | 1,5                      | 100                           |
| 2        | Os                            | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                     | Réallumage dans le premier pôle qui coupe pour confirmer la valeur $t_{arc\ min}$                                          | premier pôle qui coupe                                    | 1,0                  | 1,5                      | 100                           |
| 3        | (Cd)Os                        | $T \times 42^\circ / 360^\circ$                                                                                     | $t_{arc\ max}$ sur le premier pôle qui coupe ( $k_{pp} = 1,3$ et 1,5)                                                      | premier pôle qui coupe                                    | 1,0                  | 1,5                      | 100                           |
| 4        | Od- $t$ -CdOs                 | $T \times 90^\circ / 360^\circ$                                                                                     | $t_{arc\ min}$ sur le deuxième pôle qui coupe ( $k_{pp} = 1,3$ )<br>dernier pôle qui coupe ( $k_{pp} = 1,5$ ) <sup>c</sup> | deuxième pôle qui coupe                                   | 0,97                 | 1,3                      | 89                            |
| 5        | CdOs                          | $T \times 132^\circ / 360^\circ$                                                                                    | $t_{arc\ max}$ sur le deuxième pôle qui coupe ( $k_{pp} = 1,3$ )<br>dernier pôle qui coupe ( $k_{pp} = 1,5$ ) <sup>c</sup> | deuxième pôle qui coupe                                   | 0,97                 | 1,3                      | 89                            |
| 6        | (Cd)Os                        | $T \times 162^\circ / 360^\circ$                                                                                    | $t_{arc\ max}$ sur le troisième pôle qui coupe ( $k_{pp} = 1,3$ )                                                          | troisième pôle qui coupe                                  | 0,77                 | 1,3                      | 57                            |

Pour les essais 1 à 3, le circuit d'essais synthétiques doit être appliqué au premier pôle qui coupe.

En cas de défaillance au cours de l'essai 5 ou 6, le disjoncteur peut être remis en état et les essais 4 à 6 doivent être répétés. La série d'essais est satisfaisante si aucune autre défaillance ne se produit.

Si le circuit de courant est à neutre isolé, pour les essais 4 à 6, le circuit d'essais synthétiques doit être appliqué au dernier pôle qui coupe (avec alternance rallongée).

Si le circuit de courant est à neutre à la terre, pour les essais 4 et 5, le circuit d'essais synthétiques doit être appliqué au deuxième pôle qui coupe. Pour l'essai 6, le circuit d'essais synthétiques doit être appliqué au troisième pôle qui coupe.

<sup>a</sup> Les termes abrégés sont conformes au Tableau 6.

<sup>b</sup> Où  $d\alpha = 18^\circ$ .

<sup>c</sup> Les durées d'arc relatives aux essais 4 et 5 peuvent être interchangeables.

**D.2.4.3 Séquence d'essai T100a**

Les essais correspondants figurent dans le Tableau D.10.

**Tableau D.10 – Procédure de combinaison de  $k_{pp} = 1,5$  et 1,3 pour la séquence d'essai T100a**

| Essai n° | Séquence d'essai | Condition d'asymétrie                                                        | Durée d'arc (supplémentaire à $t_{arc\ min}$ du premier pôle qui coupe pour la phase soumise à la TTR) <sup>a</sup> | Condition d'essai (en référence au réseau triphasé)                                                                                                                                                              | TTR                                                       |                      |                          | Courant injecté ( $di/dr$ ) %          |
|----------|------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------------|
|          |                  |                                                                              |                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                  | Application (en référence au circuit de courant triphasé) | valeur de $u_c$ p.u. | $u_c$ fondé sur $k_{pp}$ |                                        |
| 1        | Os               | Grande alternance – intermédiaire (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 7 et 8) | 0                                                                                                                   | $t_{arc\ min}$ sur le premier pôle qui coupe ( $k_{pp} = 1,5$ et 1,3)<br><br>Asymétrie exigée sur le deuxième ou le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée                                  | premier pôle qui coupe                                    | 1,0                  | 1,5                      | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 9)  |
| 2        | Os               | Grande alternance – intermédiaire (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 7 et 8) | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                                     | Réallumage dans le premier pôle qui coupe pour confirmer la valeur $t_{arc\ min}$<br><br>Asymétrie exigée sur le deuxième ou le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée                      | premier pôle qui coupe                                    | 1,0                  | 1,5                      | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 9)  |
| 3        | Os               | Grande alternance – assignée (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 3 et 4)      | $\Delta t_{a1} - T \times d\alpha / 360^\circ$                                                                      | $t_{arc1}$ avec grande alternance et asymétrie exigée sur le premier pôle qui coupe ( $k_{pp} = 1,3$ et 1,5)                                                                                                     | premier pôle qui coupe                                    | 1,0                  | 1,5                      | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 5)  |
| 4        | Os               | Grande alternance – assignée <sup>b</sup>                                    | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 13)                                                                              | $t_{arc\ min}$ avec asymétrie exigée sur le deuxième pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée ( $k_{pp} = 1,3$ ) et le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée ( $k_{pp} = 1,5$ ) | deuxième pôle qui coupe <sup>b</sup>                      | 0,97                 | 1,3                      | (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 12) |

| Essai n° | Séquence d'essai | Condition d'asymétrie                     | Durée d'arc (supplémentaire à $t_{arc \min}$ du premier pôle qui coupe pour la phase soumise à la TTR) <sup>a</sup> | Condition d'essai (en référence au réseau triphasé)                                                                   | TTR                                                       |                      |                          | Courant injecté ( $di/dt$ ) %          |
|----------|------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------------|
|          |                  |                                           |                                                                                                                     |                                                                                                                       | Application (en référence au circuit de courant triphasé) | valeur de $u_c$ p.u. | $u_c$ fondé sur $k_{pp}$ |                                        |
| 5        | Os               | Grande alternance – assignée <sup>b</sup> | $\Delta t_{a3} - T \times d\alpha/360^\circ$                                                                        | $t_{arc3}$ et asymétrie exigée sur le deuxième pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée ( $k_{pp} = 1,3$ ) | deuxième pôle qui coupe <sup>b</sup>                      | 0,97                 | 1,3                      | (Tableau E.13 ou Tableau E.16 col. 12) |
| 6        | Os               | Grande alternance – assignée <sup>b</sup> | $\Delta t_{a2} - T \times d\alpha/360^\circ$                                                                        | $t_{arc2}$ et asymétrie exigée sur le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée ( $k_{pp} = 1,5$ )  | dernier pôle qui coupe <sup>b</sup>                       | 0,58                 | 1,5                      | (Tableau E.12 ou Tableau E.15 col. 12) |

En cas de défaillance au cours de l'essai 5 ou 6, le disjoncteur peut être remis en état et les essais 4 à 6 doivent être répétés. La série d'essais est satisfaisante si aucune autre défaillance ne se produit.

Les essais 5 et 6 peuvent être combinés au moyen de la TTR et du rapport  $di/dt$  de l'essai 5 et la durée d'arc de l'essai 6.

Les valeurs de réduction de la TTR due à l'asymétrie sont données à l'Annexe A.

<sup>a</sup> Où

$\Delta t_{a1}$  est le paramètre approprié à choisir dans la colonne 6 du Tableau E.12 ou du Tableau E.15;

$\Delta t_{a2}$  est le paramètre approprié à choisir dans la colonne 14 du Tableau E.12 ou du Tableau E.15;

$\Delta t_{a3}$  est le paramètre approprié à choisir dans la colonne 14 du Tableau E.13 ou du Tableau E.16;

$d\alpha = 18^\circ$ .

<sup>b</sup> Si le circuit de courant est à neutre isolé, pour les essais 4 à 6, le circuit d'essais synthétiques doit être appliqué au dernier pôle qui coupe avec alternance rallongée. Voir le Tableau E.12 ou le Tableau E.15, colonnes 10 et 11, pour l'amplitude et la durée de la dernière alternance de courant.

Si le circuit de courant est à neutre à la terre, pour les essais 4 à 6, le circuit d'essais synthétiques doit être appliqué au deuxième pôle qui coupe avec alternance rallongée. Voir le Tableau E.13 ou le Tableau E.16, colonnes 10 et 11, pour l'amplitude et la durée de la dernière alternance de courant.

## Annexe E (normative)

## Séparation des séquences d'essais en séries d'essais compte tenu de la TTR associée à chaque pôle qui coupe

## E.1 Généralités

Compte tenu des limitations d'un laboratoire, les essais triphasés ne sont pas toujours possibles. Il est courant de réaliser de tels essais à l'aide d'un circuit monophasé avec une TTR unique qui couvre le premier, le deuxième et le dernier pôles qui coupent. Cette procédure d'essai peut entraîner des contraintes plus élevées sur le disjoncteur en essai par rapport à la procédure correspondante d'essais triphasés directs.

La procédure de la présente Annexe E peut être utilisée en substitution à des essais triphasés lorsque des essais monophasés sont autorisés.

Une combinaison des facteurs de premier pôle qui coupe de 1,5 et 1,3, conformément au 7.104.3.4 de l'IEC 62271-100:2021, couplée à la séparation des séquences d'essais, peut être exécutée, conformément à l'Article E.4.

## E.2 Séquences d'essais T10, T30, T60, T100s(b), OP1 et OP2(b)

### E.2.1 Procédure d'essai pour des facteurs de premier pôle qui coupe 1,5 et 2,5

Les procédures d'essais monophasés pour la séparation des séquences d'essais pour démontrer des durées d'arc avec la TTR correcte pour chaque pôle qui coupe conformément au 7.104.3.5 de l'IEC 62271-100:2021 sont données dans le Tableau E.1 pour les facteurs de premier pôle qui coupe de 1,5 et 2,5.

**Tableau E.1 – Procédure d'essai pour  $k_{pp} = 1,5$  et  $2,5$**

| Essai<br>n° | Séquence<br>d'essai <sup>a</sup> | Durée d'arc<br>(supplémentaire<br>à $t_{\text{arc min}}$ )<br>ms <sup>d</sup> | Condition d'essai<br>(en référence au réseau triphasé)                           | TTR          |                            | Courant<br>injecté<br>$di/dt$<br>% |
|-------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------|------------------------------------|
|             |                                  |                                                                               |                                                                                  | VATR<br>p.u. | valeur<br>de $u_c$<br>p.u. |                                    |
| 1           | Os<br>CdOs <sup>b</sup>          | 0                                                                             | $t_{\text{arc min}}$ premier pôle qui coupe                                      | 1,0          | 1,0                        | 100                                |
| 2           | Os<br>CdOs <sup>b</sup>          | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                               | Réallumage dans le premier pôle<br>qui coupe pour confirmer $t_{\text{arc min}}$ | 1,0          | 1,0                        | 100                                |
| 3           | Od- $t$ -CdOs<br>Os <sup>c</sup> | $T \times 42^\circ / 360^\circ$                                               | $t_{\text{arc max}}$ premier pôle qui coupe                                      | 1,0          | 1,0                        | 100                                |
| 4           | Os                               | $T \times 90^\circ / 360^\circ$                                               | $t_{\text{arc min}}$ dernier pôle qui coupe                                      | 0,7          | 0,58                       | 87                                 |
| 5           | CdOs<br>Os <sup>c</sup>          | $T \times 132^\circ / 360^\circ$                                              | $t_{\text{arc max}}$ dernier pôle qui coupe                                      | 0,7          | 0,58                       | 87                                 |

Pour T10, T30 et T60, la manœuvre Cd peut être effectuée à vide.

<sup>a</sup> Les termes abrégés sont conformes au Tableau 6.

<sup>b</sup> Séquence d'essais pour OP2(b), la manœuvre Cd peut être effectuée à vide, voir aussi Tableau 7.

<sup>c</sup> Séquence d'essais pour OP1 et OP2(b), voir aussi Tableau 7.

d OÙ  $d\alpha = 18^\circ$ .

### E.2.2 Procédure d'essai pour des facteurs de premier pôle qui coupe 1,3 et 2,0

Les procédures d'essais monophasés pour la séparation des séquences d'essais pour démontrer des durées d'arc avec la TTR correcte pour chaque pôle qui coupe conformément au 7.104.3.5 de l'IEC 62271-100:2021 sont données dans le Tableau E.2 et le Tableau E.3 pour les facteurs de premier pôle qui coupe de 1,3 et 2,0. Une procédure simplifiée est donnée dans le Tableau E.3 plus sévère que la procédure donnée dans le Tableau E.2.

En cas de défaillance au cours de l'essai 5 ou 6 tel qu'indiqué dans le Tableau E.2, le disjoncteur peut être remis en état et les essais 4 à 6 doivent être répétés. La série d'essais est satisfaisante si aucune autre défaillance ne se produit.

En cas de défaillance au cours de l'essai 5 tel qu'indiqué dans le Tableau E.3, le disjoncteur peut être remis en état et les essais 3 à 5 doivent être répétés. La série d'essais est satisfaisante si aucune autre défaillance ne se produit.

La remise en état du disjoncteur, le cas échéant, doit satisfaire aux exigences du 7.102.9.6 de l'IEC 62271-100:2021.

**Tableau E.2 – Procédure d'essai pour  $k_{pp} = 1,3$  et  $2,0$**

| Essai n° | Séquence d'essai <sup>a</sup>         | Durée d'arc<br>(supplémentaire à $t_{\text{arc min}}$ )<br>ms <sup>d</sup> | Condition d'essai<br>(en référence au réseau triphasé)                        | TTR          |                         | Courant injecté<br>$di/dr$<br>% |
|----------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------------|
|          |                                       |                                                                            |                                                                               | VATR<br>p.u. | valeur de $u_c$<br>p.u. |                                 |
| 1        | Os<br>CdOs <sup>b</sup>               | 0                                                                          | $t_{\text{arc min}}$ premier pôle qui coupe                                   | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 2        | Os<br>CdOs <sup>b</sup>               | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                            | Réallumage dans le premier pôle qui coupe pour confirmer $t_{\text{arc min}}$ | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 3        | (Cd)Os<br>Os <sup>c</sup>             | $T \times 42^\circ / 360^\circ$                                            | $t_{\text{arc max}}$ premier pôle qui coupe                                   | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 4        | Od- <i>l</i> -CdOs<br>Os <sup>c</sup> | $T \times 77^\circ / 360^\circ$                                            | $t_{\text{arc min}}$ deuxième pôle qui coupe <sup>e</sup>                     | 0,95         | 0,97                    | 89                              |
| 5        | CdOs<br>Os <sup>c</sup>               | $T \times 119^\circ / 360^\circ$                                           | $t_{\text{arc max}}$ deuxième pôle qui coupe <sup>e</sup>                     | 0,95         | 0,97                    | 89                              |
| 6        | (Cd)Os<br>Os <sup>c</sup>             | $T \times 162^\circ / 360^\circ$                                           | $t_{\text{arc max}}$ troisième pôle qui coupe                                 | 0,70         | 0,77                    | 57                              |

Pour T10, T30 et T60, la manœuvre Cd peut être effectuée à vide.

<sup>a</sup> Les termes abrégés sont conformes au Tableau 6.

<sup>b</sup> Séquence d'essais pour OP2(b), la manœuvre Cd peut être effectuée à vide, voir aussi Tableau 7.

<sup>c</sup> Séquence d'essais pour OP1 et OP2(b), voir aussi Tableau 7.

<sup>d</sup> Où  $d\alpha = 18^\circ$ .

<sup>e</sup> Les durées d'arc relatives aux essais 4 et 5 peuvent être interchangeables.

**Tableau E.3 – Procédure d'essai simplifiée pour  $k_{pp} = 1,3$  et  $2,0$** 

| Essai n°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Séquence d'essai <sup>a</sup>    | Durée d'arc<br>(supplémentaire à $t_{arcmin}$ )<br>ms <sup>d</sup> | Condition d'essai<br>(en référence au réseau triphasé)                 | TTR          |                         | Courant injecté<br>$di/dr$<br>% |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                  |                                                                    |                                                                        | VATR<br>p.u. | valeur de $u_c$<br>p.u. |                                 |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Os<br>CdOs <sup>b</sup>          | 0                                                                  | $t_{arc min}$ premier pôle qui coupe                                   | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Os<br>CdOs <sup>b</sup>          | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                    | Réallumage dans le premier pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc min}$ | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Od- $t$ -CdOs<br>Os <sup>c</sup> | $T \times 119^\circ / 360^\circ$                                   | $t_{arc max}$ deuxième pôle qui coupe <sup>e</sup>                     | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | CdOs<br>Os <sup>c</sup>          | $T \times 60^\circ / 360^\circ$                                    | $t_{arc moy}$ premier et deuxième pôles qui coupent <sup>e</sup>       | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | (Cd)Os<br>Os <sup>c</sup>        | $T \times 162^\circ / 360^\circ$                                   | $t_{arc max}$ troisième pôle qui coupe                                 | 0,70         | 0,77                    | 57                              |
| Pour T10, T30 et T60, la manœuvre Cd peut être effectuée à vide.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                  |                                                                    |                                                                        |              |                         |                                 |
| <sup>a</sup> Les termes abrégés sont conformes au Tableau 6.<br><sup>b</sup> Séquence d'essais pour OP2(b), la manœuvre Cd peut être effectuée à vide, voir aussi Tableau 7.<br><sup>c</sup> Séquence d'essais pour OP1 et OP2(b), voir aussi Tableau 7.<br><sup>d</sup> Où $d\alpha = 18^\circ$ .<br><sup>e</sup> Les durées d'arc relatives aux essais 3 et 4 peuvent être interchangeables. |                                  |                                                                    |                                                                        |              |                         |                                 |

**E.2.3 Procédure d'essai pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,2**

Les procédures d'essais monophasés pour la séparation des séquences d'essais pour démontrer des durées d'arc avec la TTR correcte pour chaque pôle qui coupe conformément au 7.104.3.5 de l'IEC 62271-100:2021 sont données dans le Tableau E.4 et le Tableau E.5 pour un facteur de premier pôle qui coupe de 1,2.

Une procédure simplifiée est donnée dans le Tableau E.5 plus sévère que la procédure donnée dans le Tableau E.4.

En cas de défaillance au cours de l'essai 5 ou 6 tel qu'indiqué dans le Tableau E.4, le disjoncteur peut être remis en état et les essais 4 à 6 doivent être répétés. La série d'essais est satisfaisante si aucune autre défaillance ne se produit.

La remise en état du disjoncteur, le cas échéant, doit satisfaire aux exigences du 7.102.9.6 de l'IEC 62271-100:2021.

**Tableau E.4 – Procédure d'essai pour  $k_{pp} = 1,2$** 

| Essai n°                                                                              | Séquence d'essai <sup>a</sup> | Durée d'arc<br>(supplémentaire à $t_{arc\ min}$ )<br>ms <sup>b</sup> | Condition d'essai<br>(en référence au réseau triphasé)                  | TTR          |                         | Courant injecté<br>$di/dt$<br>% |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------------|
|                                                                                       |                               |                                                                      |                                                                         | VATR<br>p.u. | valeur de $u_c$<br>p.u. |                                 |
| 1                                                                                     | Os                            | 0                                                                    | $t_{arc\ min}$ premier pôle qui coupe                                   | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 2                                                                                     | Os                            | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                      | Réallumage dans le premier pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc\ min}$ | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 3                                                                                     | (Cd)Os                        | $T \times 42^\circ / 360^\circ$                                      | $t_{arc\ max}$ premier pôle qui coupe                                   | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 4                                                                                     | Od- $t$ -CdOs                 | $T \times 71^\circ / 360^\circ$                                      | $t_{arc\ min}$ deuxième pôle qui coupe <sup>c</sup>                     | 0,95         | 0,95                    | 92                              |
| 5                                                                                     | CdOs                          | $T \times 113^\circ / 360^\circ$                                     | $t_{arc\ max}$ deuxième pôle qui coupe <sup>c</sup>                     | 0,95         | 0,95                    | 92                              |
| 6                                                                                     | (Cd)Os                        | $T \times 162^\circ / 360^\circ$                                     | $t_{arc\ max}$ troisième pôle qui coupe                                 | 0,83         | 0,83                    | 75                              |
| Pour T10, T30 et T60, la manœuvre Cd peut être effectuée à vide.                      |                               |                                                                      |                                                                         |              |                         |                                 |
| <sup>a</sup> Les termes abrégés sont conformes au Tableau 6.                          |                               |                                                                      |                                                                         |              |                         |                                 |
| <sup>b</sup> Où $d\alpha = 18^\circ$ .                                                |                               |                                                                      |                                                                         |              |                         |                                 |
| <sup>c</sup> Les durées d'arc relatives aux essais 4 et 5 peuvent être interchangées. |                               |                                                                      |                                                                         |              |                         |                                 |

**Tableau E.5 – Procédure d'essai simplifiée pour  $k_{pp} = 1,2$** 

| Essai n°                                                                              | Séquence d'essai <sup>a</sup> | Durée d'arc<br>(supplémentaire à $t_{arc\ min}$ )<br>ms <sup>b</sup> | Condition d'essai<br>(en référence au réseau triphasé)                  | TTR          |                         | Courant injecté<br>$di/dt$<br>% |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------|---------------------------------|
|                                                                                       |                               |                                                                      |                                                                         | VATR<br>p.u. | valeur de $u_c$<br>p.u. |                                 |
| 1                                                                                     | Os                            | 0                                                                    | $t_{arc\ min}$ premier pôle qui coupe                                   | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 2                                                                                     | Os                            | $-T \times d\alpha / 360^\circ$                                      | Réallumage dans le premier pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc\ min}$ | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 3                                                                                     | Od- $t$ -CdOs                 | $T \times 113^\circ / 360^\circ$                                     | $t_{arc\ max}$ deuxième pôle qui coupe <sup>c</sup>                     | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 4                                                                                     | CdOs                          | $T \times 57^\circ / 360^\circ$                                      | $t_{arc\ moy}$ premier et deuxième pôles qui coupent <sup>c</sup>       | 1,0          | 1,0                     | 100                             |
| 5                                                                                     | (Cd)Os                        | $T \times 162^\circ / 360^\circ$                                     | $t_{arc\ max}$ troisième pôle qui coupe                                 | 0,83         | 0,83                    | 75                              |
| Pour T10, T30 et T60, la manœuvre Cd peut être effectuée à vide.                      |                               |                                                                      |                                                                         |              |                         |                                 |
| <sup>a</sup> Les termes abrégés sont conformes au Tableau 6.                          |                               |                                                                      |                                                                         |              |                         |                                 |
| <sup>b</sup> Où $d\alpha = 18^\circ$ .                                                |                               |                                                                      |                                                                         |              |                         |                                 |
| <sup>c</sup> Les durées d'arc relatives aux essais 3 et 4 peuvent être interchangées. |                               |                                                                      |                                                                         |              |                         |                                 |

### E.3 Séquence d'essai T100a

#### E.3.1 Généralités

La procédure d'essai décrite ici repose sur la détermination de la durée minimale d'arc après une grande alternance avec une asymétrie intermédiaire.