

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**High-voltage fuses –
Part 1: Current-limiting fuses**

**Fusibles à haute tension –
Partie 1: Fusibles limiteurs de courant**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60282-1:2020



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 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
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

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

Electropedia - 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 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - 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.

Electropedia - 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.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**High-voltage fuses –
Part 1: Current-limiting fuses**

**Fusibles à haute tension –
Partie 1: Fusibles limiteurs de courant**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.120.50

ISBN 978-2-8322-8088-1

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

CONTENTS

FOREWORD	6
1 Scope	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	8
3.1 Electrical characteristics	8
3.2 Fuses and their component parts	12
3.3 Additional terms	14
4 Normal and special service conditions	16
4.1 Normal service conditions	16
4.2 Special service conditions	17
4.2.1 General	17
4.2.2 Altitude	17
4.3 Environmental behaviour	18
5 Ratings and characteristics	18
5.1 General	18
5.2 Ratings and characteristics that are applicable to all fuses	18
5.2.1 Rated voltage (U_r)	18
5.2.2 Rated current of a fuse-base	19
5.2.3 Rated current of a fuse-link (I_r)	19
5.2.4 Rated insulation level (of a fuse-base)	19
5.2.5 Rated breaking capacity	21
5.2.6 Rated frequency	21
5.2.7 Temperature limits	21
5.2.8 Limits of switching voltage	22
5.2.9 Time-current characteristics	24
5.2.10 Cut-off characteristic	25
5.2.11 I^2t characteristics	25
5.2.12 Power dissipation	25
5.3 Ratings and characteristics of particular fuse-link types and applications	25
5.3.1 Fuse-links for transformer applications	25
5.3.2 Fuse-links for motor circuit applications	26
5.3.3 Fuse-links for capacitor protection	26
5.3.4 Fuses fitted with indicating devices	26
5.3.5 Back-Up fuses intended for use in a switch-fuse combination according to IEC 62271-105	28
5.3.6 Allowable continuous current of a fuse-link (I_a)	28
5.3.7 Maximum enclosure current (I_{fep})	28
6 Design, construction and performance	29
6.1 General requirements with respect to fuse operation	29
6.1.1 General	29
6.1.2 Standard conditions of use	29
6.1.3 Standard conditions of behaviour	30
6.2 Identifying markings	30
6.3 Dimensions	31
7 Type tests performed on all fuses	31
7.1 Conditions for making the tests	31

7.2	List of type tests	32
7.3	Common test practices for all type tests	32
7.3.1	General	32
7.3.2	Mounting of fuse-link	32
7.3.3	Condition of device to be tested	32
7.3.4	Mounting of fuses	32
7.4	Dielectric tests	32
7.4.1	Test practices	32
7.4.2	Application of test voltage for impulse and power-frequency test	33
7.4.3	Atmospheric conditions during test	33
7.4.4	Lightning impulse voltage dry tests	33
7.4.5	Power-frequency voltage dry tests	34
7.4.6	Power-frequency wet tests	34
7.5	Temperature-rise tests and power-dissipation measurement	34
7.5.1	Test practices	34
7.5.2	Measurement of temperature	35
7.5.3	Measurement of power dissipation	36
7.6	Breaking tests	36
7.6.1	Test practices	36
7.6.2	Test procedure	46
7.6.3	Alternative test methods for Test Duty 3	48
7.6.4	Breaking tests for fuse-links of a homogeneous series	51
7.6.5	Acceptance of a homogeneous series of Back-Up fuse-links by interpolation	53
7.6.6	Acceptance of a homogeneous series of fuse-links of different lengths	53
7.7	Tests for time-current characteristics	54
7.7.1	Test practices	54
7.7.2	Test procedures	54
7.8	Electromagnetic compatibility (EMC)	54
8	Type tests for particular fuse-link types and applications	55
8.1	General	55
8.2	List of type tests	55
8.3	Tests required for a particular type of fuse or application	55
8.3.1	Indicator tests (for fuses fitted with indicators)	55
8.3.2	Striker tests (for fuses fitted with strikers)	56
8.3.3	Tests for Back-Up fuses for use in switch-fuse combination of IEC 62271-105	58
8.3.4	Liquid-tightness tests	59
8.4	Tests performed at the request of a user	64
8.4.1	Thermal shock tests for outdoor fuses	64
8.4.2	Waterproof test (ingress of moisture) for outdoor fuses	65
9	Routine tests	65
Annex A (normative)	Method of drawing the envelope of the prospective and transient recovery voltage of a circuit and determining the representative parameters	66
A.1	Introduction	66
A.2	Drawing the envelope	66
A.3	Determination of parameters	66
Annex B (informative)	Reasons which led to the choice of TRV values for Test Duties 1, 2 and 3	68

Annex C (informative) Preferred arrangements for temperature-rise tests of liquid-tight fuse-links	70
Annex D (informative) Types and dimensions of current-limiting fuse-links specified in existing national standards	71
Annex E (normative) Requirements for certain types of fuse-links intended for use at surrounding temperatures above 40 °C	74
E.1 Types of fuse-link covered by this annex	74
E.1.1 General	74
E.1.2 Covered fuse-link types	74
E.1.3 Exempted fuse-links	74
E.1.4 Introduction	74
E.2 Definitions	75
E.3 Preferred MAT ratings	75
E.4 Specific service conditions	75
E.5 Additional breaking test requirements	75
E.5.1 Test practices	75
E.5.2 Test procedure	76
E.5.3 Full-Range fuse Test Duty 3 tests	76
E.6 Full-Range fuse: determination of I_3 current	77
Annex F (informative) Criteria for determining I_t testing validity	78
F.1 Introduction	78
F.2 Breaking processes	78
Bibliography	79
Figure 1 – Terminology	13
Figure 2 – Permissible switching voltages for fuse-links of small current ratings (Table 8)	24
Figure 3 – Various stages of the striker travel	27
Figure 4 – Representation of a specified TRV by a two-parameter reference line and a delay line	41
Figure 5 – Example of a two-parameter reference line for a TRV complying with the conditions of the type test	42
Figure 6 – Breaking tests – Arrangement of the equipment	46
Figure 7 – Breaking tests – Typical circuit diagram for Test Duties 1 and 2	46
Figure 8 – Breaking tests – Typical circuit diagram for Test Duty 3	47
Figure 9 – Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 1	49
Figure 10 – Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 2 (calibration traces as in a) of Figure 9)	50
Figure 11 – Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 3	50
Figure 12 – Test sequence for switchgear type applications	61
Figure 13 – Test sequence for transformer type applications	62
Figure 14 – Test sequence for series a) test for transformer type applications	63
Figure 15 – Test sequence for series b) test for transformer type applications	64
Figure A.1 – Example of a two-parameter reference line for a TRV whose initial portion is concave towards the left	67
Figure A.2 – Example of a two-parameter reference line for an exponential TRV	67
Figure C.1 – Test tank for temperature-rise tests of liquid-tight fuses	70

Figure C.2 – Details of clamping arrangement for fuse-link in the tank	70
--	----

Table 1 – Altitude correction factors – Dielectric withstand.....	17
Table 2 – Altitude correction factors – Current-carrying capability	17
Table 3 – Rated voltages	19
Table 4 – Fuse-base rated insulation levels – Series I	20
Table 5 – Fuse-base rated insulation levels – Series II	20
Table 6 – Limits of temperature and temperature rise for components and materials.....	22
Table 7 – Maximum permissible switching voltages.....	23
Table 8 – Maximum permissible switching voltages for certain fuse-links of small current ratings	23
Table 9 – Striker mechanical characteristics	27
Table 10 – Electrical connection to the test circuit – Conductor sizes.....	35
Table 11 – Breaking tests – Parameters	39
Table 12 – Standard values of rated TRV for I_1 – Series I rated voltages.....	43
Table 13 – Standard values of rated TRV for I_1 – Series II rated voltages.....	43
Table 14 – TRV for Test Duty 2 – Series I rated voltages.....	44
Table 15 – TRV for Test Duty 2 – Series II rated voltages.....	45
Table 16 – Breaking test requirements for fuse-links of a homogeneous series	52

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60282-1:2020

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE FUSES –

Part 1: Current-limiting fuses

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 60282-1 has been prepared by subcommittee 32A: High-voltage fuses, of IEC technical committee 32: Fuses.

This eighth edition cancels and replaces the seventh edition published in 2009.

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

- additional information concerning thermally operated strikers;
- the division of ratings, characteristics and type tests into those applicable to all fuses and those applicable to particular fuse-link types and applications;
- adjustment of Series II voltages and tests to meet present North American standard system voltages and applications;
- clarification of requirements for fuse-links used in surrounding temperatures above 40 °C; and

- clarification of homogeneous requirements for fuse-links containing one element.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
32A/347/FDIS	32A/349/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 60282 series, published under the general title *High-voltage fuses*, 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 "<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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60282-1:2020

HIGH-VOLTAGE FUSES –

Part 1: Current-limiting fuses

1 Scope

This part of IEC 60282 applies to all types of high-voltage current-limiting fuses designed for use outdoors or indoors on alternating current systems of 50 Hz and 60 Hz and of rated voltages exceeding 1 000 V.

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 60060-1:2010, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60071-1, *Insulation coordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60549, *High-voltage fuses for the external protection of shunt capacitors*

IEC 60644, *Specification for high-voltage fuse-links for motor circuit applications*

IEC 62271-105, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 105: Alternating current switch-fuse combinations for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions 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 Electrical characteristics

3.1.1

rated value

value of a quantity used for specification purposes, established for a specified set of operating conditions of a component, device, equipment, or system

Note 1 to entry: Examples of rated value usually stated for fuses: voltage, current and breaking current.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-35, modified – "used for specification purposes" and "system" added, "assigned, generally by the manufacturer" deleted.]

3.1.2

rating

set of rated values and operating conditions

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-36]

3.1.3

prospective current (of a circuit and with respect to a fuse)

current that would flow in the circuit if the fuse were replaced by a conductor of negligible impedance

Note 1 to entry: For the method to evaluate and to express the prospective current, see 7.6.2.1 and 7.6.2.2.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-01, modified – deletion of "a switching device or", "each pole of the switching device or" and "is to be specified in the relevant publications" and addition of "see 7.6.2.1 and 7.6.2.2".]

3.1.4

prospective peak current

peak value of a prospective current during the transient period following initiation

Note 1 to entry: The definition assumes that the current is made by an ideal switching device, i.e. with instantaneous transition from infinite to zero impedance. For circuits where the current can follow several different paths, for example polyphase circuits, it further assumes that the current is made simultaneously in all poles, even if only the current in one pole is considered.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-02]

3.1.5

prospective breaking current

RMS value of the AC component of the prospective current, evaluated at a specified time

Note 1 to entry: This specified time is given in 7.6.2.3.

3.1.6

breaking capacity

value of prospective current that a fuse-link is capable of breaking at a stated voltage under prescribed conditions of use and behaviour

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-08, modified – "switching device or a fuse" replaced with "fuse-link" and Notes removed.]

3.1.7

cut-off current

let-through current

maximum instantaneous value of current attained during the breaking operation of a fuse

Note 1 to entry: This concept is of particular importance when the fuse operates in such a manner that the prospective peak current of the circuit is not reached due to a current-limiting effect.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-12, modified – "a switching device or" deleted, "due to a current limiting effect" added to Note 1 to entry.]

3.1.8

pre-arcing time

melting time

interval of time between the beginning of a current large enough to cause a break in the fuse-element(s) and the instant when an arc is initiated

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-21]

3.1.9

arcing time

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

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-37, modified – references to "poles" removed.]

3.1.10

operating time

clearing time

sum of the pre-arcing time and the arcing time

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-22]

3.1.11

I^2t

Joule integral

integral of the square of the current over a given time interval $t_0 - t_1$

$$I^2t = \int_{t_0}^{t_1} i^2 dt$$

Note 1 to entry: The pre-arcing I^2t is the I^2t integral extended over the pre-arcing time of the fuse.

Note 2 to entry: The operating I^2t is the I^2t integral extended over the operating time of the fuse.

Note 3 to entry: The energy in joules liberated in 1 Ω of resistance in a circuit protected by a fuse is equal to the value of the operating I^2t expressed in $A^2 \times s$.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-23]

3.1.12

virtual time

value of Joule integral divided by the square of the value of the prospective current

Note 1 to entry: The values of virtual times usually stated for a fuse-link are the values of pre-arcing time and of operating time.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-37]

3.1.13

time-current characteristic

curve giving the virtual time, for example pre-arcing time or operating time, as a function of the prospective current under stated conditions of operation

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-13, modified – "virtual" added.]

3.1.14

cut-off (current) characteristic

let-through (current) characteristic

curve giving the cut-off current as a function of the RMS prospective current, under stated conditions of operation

Note 1 to entry: The values of the cut-off currents are the maximum values that can be reached whatever the degree of asymmetry.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-14, modified – "RMS" added, and references relating to direct currents removed from the note to entry.]

3.1.15**recovery voltage**

voltage which appears across the terminals of a fuse after the breaking of the current

Note 1 to entry: This voltage may be considered in two successive intervals of time, one during which a transient voltage exists, followed by a second one during which the power frequency recovery voltage alone exists.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-25, modified – "a pole of a switching device or" removed and "or the steady-state" removed from the Note to entry.]

3.1.16**transient recovery voltage**

TRV

recovery voltage during the time in which it has a significant transient character

Note 1 to entry: The transient recovery voltage may be oscillatory or non-oscillatory or a combination of these depending on the characteristics of the circuit and the fuse. It includes the voltage shift of the neutral point of a polyphase circuit.

Note 2 to entry: The transient recovery voltage in three-phase circuits is, unless otherwise stated, that across the first fuse to clear, because this voltage is generally higher than that which appears across each of the other two fuses.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-26, modified – "switching device" and "pole" replaced by "fuse" in the Notes to entry.]

3.1.17**power-frequency recovery voltage**

recovery voltage after the transient voltage phenomena have subsided

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-27]

3.1.18**prospective transient recovery voltage** (of a circuit)

transient recovery voltage following the breaking of the prospective symmetrical current by an ideal switching device

Note 1 to entry: The definition assumes that the fuse, for which the prospective transient recovery voltage is sought, is replaced by an ideal switching device, i.e. having instantaneous transition from zero to infinite impedance at the very instant of zero current, i.e. at the "natural" zero. For circuits where the current can follow several different paths, for example a polyphase circuit, the definition further assumes that the breaking of the current by the ideal switching device takes place only in the pole considered.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-29, modified – "switching device or" removed from note to entry.]

3.1.19**switching voltage**

maximum instantaneous value of voltage which appears across the terminals of a fuse during its operation

Note 1 to entry: The switching voltage may be the arc voltage or may occur during the time of transient recovery voltage.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-31]

3.1.20**minimum breaking current**

minimum value of prospective current that a fuse-link is capable of breaking at a stated voltage under prescribed conditions of use and behaviour

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-29]

3.1.21

power dissipation (in a fuse-link)

power released in a fuse-link carrying a stated value of electric current under prescribed conditions of use and behaviour

Note 1 to entry: Prescribed conditions of use and behaviour generally include a constant RMS value of the electric current after steady-state temperature conditions are reached.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-38]

3.1.22

maximum breaking current

maximum value of prospective current that a fuse-link is capable of breaking at a stated voltage under prescribed conditions of use and behaviour

3.1.23

lightning impulse

voltage pulse of a specified shape applied during dielectric tests with a virtual front duration of the order of 1 μ s and a time to half value of the order of 50 μ s

Note 1 to entry: The lightning impulse is defined by the two figures giving these durations in microseconds; in particular the standard lightning impulse is 1,2/50 μ s.

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 641-03-28]

3.1.24

rated lightning impulse withstand voltage

designated maximum peak withstand-voltage value, of a lightning impulse voltage wave, that is assigned to the device regarding its ability to withstand a lightning impulse voltage

Note 1 to entry: The term previously used is "basic impulse insulation level (BIL)" (still in common usage).

3.2 Fuses and their component parts

3.2.1

fuse

device that by the fusing of one or more of its specially designed and proportioned components, opens the circuit to which it is connected by breaking the current when this exceeds a given value for a sufficient time. The fuse comprises all the parts that form the complete device

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-01, modified – "in which it is inserted" changed to "to which it is connected".]

3.2.2

terminal

conducting part of a fuse provided for an electric connection to external circuits

Note 1 to entry: Terminals may be distinguished according to the kind of circuits for which they are intended (for example, main terminal, earth terminal, etc.), but also according to their design (for example, screw terminal, plug terminal, etc.).

3.2.3

fuse-base

fuse-mount

fixed part of a fuse provided with contacts and terminals

Note 1 to entry: The fuse-base comprises all the parts necessary for insulation (see Figure 1).

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-02, modified – Note 1 to entry added.]

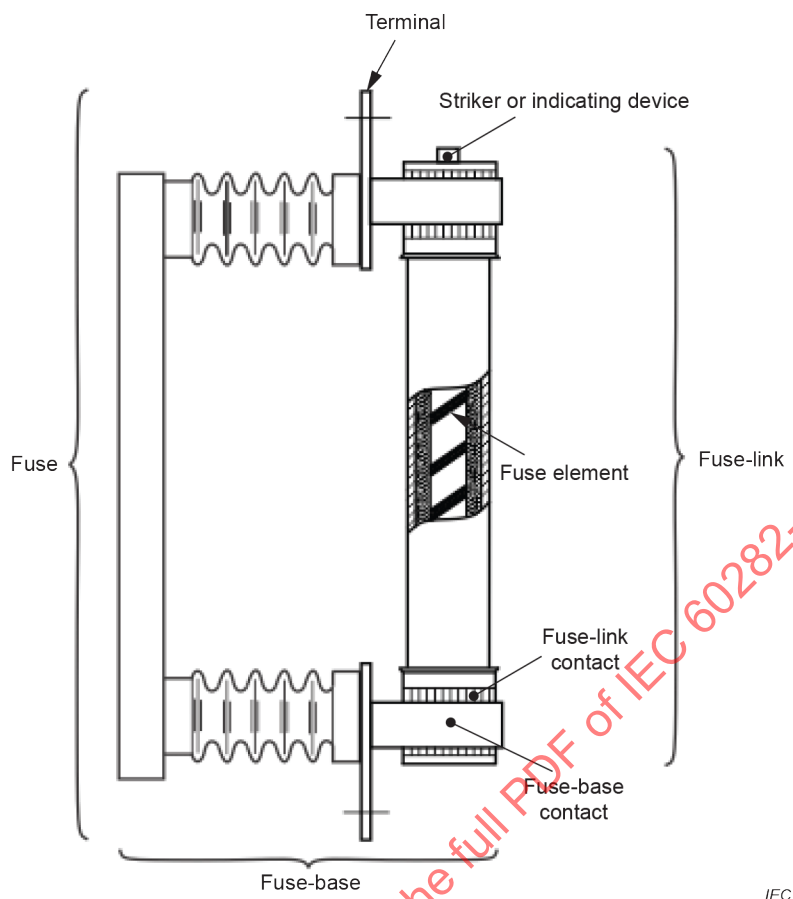


Figure 1 – Terminology

3.2.4

fuse-base contact

contact piece of a fuse-base designed to engage with a fuse-link contact (see Figure 1)

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-03, modified – "corresponding part of the fuse" replaced with "fuse-link contact (see Figure 1)".]

3.2.5

fuse-link

part of a fuse (including the fuse element(s)) intended to be replaced after the fuse has operated (see Figure 1)

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-09, modified – "see Figure 1" added.]

3.2.6

fuse-link contact

contact piece of a fuse-link designed to engage with a fuse-base contact (see Figure 1)

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-04, modified – "corresponding part of the fuse" replaced with "fuse-base contact (see Figure 1)".]

3.2.7

fuse-element

part of the fuse-link designed to melt under the action of current exceeding some definite value for a definite period of time (see Figure 1)

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-08 modified – "(see Figure 1)" added.]

3.2.8

indicating device indicator

part of a fuse provided to indicate whether the fuse has operated (see Figure 1)

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-17, modified – "(see Figure 1)" added.]

3.2.9

striker

mechanical device forming part of a fuse-link which, when the fuse operates, releases the energy required to cause operation of other apparatus or indicators or to provide interlocking

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-18]

3.2.10

thermally operated striker

mechanical device forming part of a fuse-link which, when released by fuse operation or specific thermal conditions in the fuse-link, releases the energy required to cause operation of other apparatus or indicators or to provide interlocking

3.3 Additional terms

3.3.1

current-limiting fuse

fuse that, during and by its operation in a specified current range, limits the current to a substantially lower value than the peak value of the prospective current

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-10, modified – "fuse-link" replaced by "fuse".]

3.3.2

classes

definitions of current-limiting fuses according to the range in which they can be used, divided as follows:

- Back-Up fuses
- General-Purpose fuses
- Full-Range fuses

SEE IEC TR 62655:2013, 4.2.2

3.3.3

Back-Up fuse

current-limiting fuse capable of breaking, under specified conditions of use and behaviour, all currents from the rated maximum breaking current down to the rated minimum breaking current

3.3.4

General-Purpose fuse

current-limiting fuse capable of breaking, under specified conditions of use and behaviour, all currents from the rated maximum breaking current down to a low value equal to the current that causes melting of the fuse element in 1 h

3.3.5

Full-Range fuse

current-limiting fuse capable of breaking, under specified conditions of use and behaviour, all currents that cause melting of the fuse element(s), up to its rated maximum breaking current

SEE 7.6.1.1, test duty 3

3.3.6

isolating distance (for a fuse-base)

shortest distance between the fuse-base contacts or any conductive parts connected thereto, measured on a fuse with the fuse-link removed

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 411-18-06, modified – "or fuse-carrier" removed.]

3.3.7

homogeneous series (of fuse-links)

series of fuse-links, deviating from each other only in such characteristics that, for a given test, the testing of one or a reduced number of particular fuse-link(s) of that series may be taken as representative for all the fuse-links of the homogeneous series

SEE 7.6.4.1

[SOURCE: IEC 60050-441, 441-18-34, modified – Note removed, "SEE 7.6.4.1" added.]

3.3.8

external insulation

distances in atmospheric air and along the surfaces in contact with atmospheric air of solid insulation of the equipment which are subject to dielectric stresses and to the effects of atmospheric and other environmental conditions from the site

Note 1 to entry: Examples of environmental conditions are pollution, humidity, vermin, etc.

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-02]

3.3.9

self-restoring insulation

insulation which completely recovers its insulating properties within a short time interval after a disruptive discharge

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-04]

3.3.10

organic fuse-link

fuse-link that contains a significant proportion of organic (e.g. carbon based) material that could be a possible cause of excessive leakage current following fuse operation

Note 1 to entry: If the manufacturer determines that the location and quantity of organic or other material in a design might lead to excessive post-operation leakage current and breakdown, the manufacturer shall designate the fuse-link as "organic".

3.3.11

surrounding temperature

temperature of the gaseous or liquid dielectric surrounding the fuse-link.

3.3.12

fuse-enclosure package

FEP

enclosure supplied with one or more fuse-links as a complete package and where application data covering the specific fuse-link(s) and enclosure is available.

Note 1 to entry: Depending on the particular application, the fuse-links(s) also may or may not be mounted in a canister that is then assembled into the enclosure.

3.3.13 canister fuse-container

small fuse enclosure package consisting of a close-fitting container that supports a fuse-link and restricts the air, gas, or liquid flow surrounding it

4 Normal and special service conditions

4.1 Normal service conditions

Fuses complying with this document are designed to be used under the following conditions.

- a) The maximum ambient air temperature is 40 °C and its mean measured over a period of 24 h does not exceed 35 °C.

The minimum ambient air temperature is –25 °C.

NOTE 1 The time-current characteristics of fuses will be modified between the minimum and maximum temperatures.

- b) The altitude does not exceed 1 000 m.
- c) The ambient air is not excessively (or abnormally) polluted by dust, smoke, corrosive or flammable gases, vapour or salt.
- d) For indoor installations, the conditions of humidity are under consideration but, in the meantime, the following figures can be used as a guide:
- the average value of the relative humidity, measured during a period of 24 h, does not exceed 95 %;
 - the average value of the vapour pressure, for a period of 24 h, does not exceed 22 hPa;
 - the average value of the relative humidity, for a period of one month, does not exceed 90 %;
 - the average value of the water vapour pressure, for a period of one month, does not exceed 18 hPa.

In these conditions, condensation may occasionally occur.

NOTE 2 Condensation can be expected where sudden temperature changes occur in periods of high humidity.

NOTE 3 To withstand the effects of high humidity and occasional condensation, such as breakdown of insulation or corrosion of metallic parts, indoor fuses designed for such conditions and tested accordingly or outdoor fuses are an alternative.

NOTE 4 Condensation is prevented by special design of the building or housing, by suitable ventilation and heating of the station or by the use of dehumidifying equipment.

- e) Vibrations due to causes external to fuses or earth tremors are negligible.

In addition, for outdoor installations,

- f) account should be taken of the presence of condensation or rain and rapid temperature changes;
- g) the wind pressure does not exceed 700 Pa (corresponding to 34 m/s wind speed);
- h) the solar radiation does not exceed 1,0 kW/m².

Applications involving fuse-links in enclosures (fuse enclosure packages) typically satisfy the requirements of "normal service conditions" because the ambient temperature (the temperature outside the enclosure) meets the temperatures in a) of this subclause. However, in an enclosure, surrounding temperatures (see 3.3.11) above 40 °C are to be expected and additional considerations may apply regarding assigning a current carrying capability to the device (see 5.3.6, 5.3.7, 5.2.7.2 and IEC TR 62655:2013).

For certain fuse-links and applications in enclosures additional tests may be required as covered in this document in Annex E.

4.2 Special service conditions

4.2.1 General

By agreement between the manufacturer and the user, high-voltage fuses may be used under conditions different from the normal service conditions given in 4.1. For any special service condition, the manufacturer shall be consulted.

4.2.2 Altitude

For installations at an altitude higher than 1 000 m, the required rated insulation withstand level of external insulation shall be determined by multiplying the needed insulation levels at the service location by an altitude correction factor, K_a (> 1) given in column (2) of Table 1. The dielectric withstand voltages of a fuse at a particular altitude may be determined by multiplying its rated insulation withstand levels by $1/K_a$ (< 1), given in column (3) of Table 1.

For altitudes between 1 000 m and 1 500 m and between 1 500 m and 3 000 m, the correction factors may be obtained by linear interpolation between the values in Table 1.

Table 1 – Altitude correction factors – Dielectric withstand

Maximum altitude m (1)	Correction factor for withstand voltages (K_a) (2)	Correction factor applied to rated withstand voltages ($1/K_a$) (3)
1 000	1,0	1,0
1 500	1,05	0,95
3 000	1,25	0,80

Where the dielectric characteristics are identical at any altitude, no special precautions need to be taken.

The current-carrying capability of a fuse may be determined for altitudes exceeding 1 000 m by applying the appropriate factors given in Table 2, column (2) to the rated current or allowable continuous current of the fuse.

For altitudes between 1 000 m and 1 500 m and between 1 500 m and 3 000 m, the correction factors may be obtained by linear interpolation between the values in Table 2.

Table 2 – Altitude correction factors – Current-carrying capability

Maximum altitude m (1)	Correction factor for current-carrying capability (2)
1 000	1,0
1 500	0,99
3 000	0,96

4.3 Environmental behaviour

Fuses complying with this document are inert devices during normal service. It is also a requirement of 6.1.3 that no significant external emission takes place. Therefore, they are regarded as environmentally safe devices in service and operation.

5 Ratings and characteristics

5.1 General

- a) Ratings of the fuse-base
 - 1) Rated voltage (5.2.1)
 - 2) Rated current (5.2.2)
 - 3) Rated insulation level (power-frequency, dry, wet and lightning impulse withstand voltages) (5.2.4)
- b) Ratings of the fuse-link
 - 1) Rated voltage (5.2.1)
 - 2) Rated current (5.2.3)
 - 3) Rated maximum breaking current (5.2.5.1)
 - 4) Rated minimum breaking current for Back-Up fuses (5.2.5.2)
 - 5) Rated frequency (5.2.6)
- c) Characteristics of the fuse
 - 1) Temperature rise limits (5.2.7)
- d) Characteristics of the fuse-link
 - 1) Class (3.3.2 and 5.2.5.2)
 - 2) Switching voltages (5.2.8)
 - 3) Time-current characteristics (5.2.9)
 - 4) Cut-off characteristics (5.2.10)
 - 5) I^2t characteristics (5.2.11)
 - 6) Power dissipation (5.2.12)
- e) Ratings and characteristics of particular fuse-link types and applications
 - 1) Striker mechanical characteristics (5.3.4.3)
 - 2) K Factor (for fuse-links for motor circuit applications) (See IEC 60644)
 - 3) Maximum application temperature (see Annex E)
 - 4) Allowable continuous current (5.3.6)
 - 5) Maximum enclosure current (5.3.7)

5.2 Ratings and characteristics that are applicable to all fuses

5.2.1 Rated voltage (U_r)

A voltage used in the designation of a fuse-base or fuse-link, from which the test conditions are determined.

NOTE See 6.1.2 for details on the relationship between a fuse rated voltage and the voltage of the system on which it may be used, based on the system assumptions and the specifications used for the fuse-link breaking tests.

The rated voltage of a fuse should be selected from the voltages given in Table 3. The two sets of values, series I and series II are based on common practice in different parts of the world (series II is based on North American practice).

Table 3 – Rated voltages

Series I	Series II
kV	kV
3,6	2,8
7,2	5,5
12	8,3
17,5	15,5
24	17,2
36	23
40,5	27
52	38
72,5	48,3
	72,5

5.2.2 Rated current of a fuse-base

The current assigned to a fuse-base that a new clean fuse-base will carry continuously without exceeding specified temperature rises under prescribed conditions. These conditions are that the fuse-base is equipped with a fuse-link designed to be used in the particular fuse-base, that the fuse-link has a rated current the same as the rated current of the fuse base, that the fuse-base is connected to the circuit with conductors of certain specified sizes and lengths, and that the ambient air temperature is not more than 40 °C.

The rated current of a fuse-base should be selected from the following values:

10 A; 25 A; 63 A; 100 A; 200 A; 400 A; 630 A; 1 000 A.

5.2.3 Rated current of a fuse-link (I_r)

The current assigned to a fuse-link that a new clean fuse-link will carry continuously without exceeding specified temperature rises when mounted on a fuse-base specified by the manufacturer and connected to the circuit with certain specified conductor sizes and lengths, at an ambient air temperature of not more than 40 °C (see IEC TR 62655:2013).

The rated current in amperes of the fuse-link should be selected from the R10 series. For special cases, additional values for the rated current of the fuse-link may be selected from the R20 series.

NOTE The R10 series comprises the numbers 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8 and their multiples of 10. The R20 series comprises the numbers 1; 1,12; 1,25; 1,40; 1,6; 1,8; 2; 2,24; 2,5; 2,8; 3,15; 3,55; 4; 4,5; 5; 5,6; 6,3; 7,1; 8; 9 and their multiples of 10.

5.2.4 Rated insulation level (of a fuse-base)

The voltage values (both power frequency and impulse) that characterise the insulation of a fuse-base with regard to its capability of withstanding dielectric stresses (see IEC TR 62655:2013, 4.5) under normal service conditions defined in 4.1 including altitudes from sea level up to 1 000 m.

Two levels of dielectric withstand are recognised for a fuse-base according to European practice. These are termed "List 1" and "List 2" and relate to different severities of application and corresponding different values of test voltage for the dielectric tests (see IEC TR 62655:2013, 4.5.2).

The rated insulation level of a fuse-base should be selected from Table 4 and Table 5.

- Table 4 is based on practice in Europe, and standard reference conditions of temperature, pressure and humidity are 20 °C, 101,3 kPa and 11 g/m³, respectively, of water.
- Table 5 is based on practice in the USA and Canada where standard reference conditions of temperature, pressure and humidity are 25 °C, 101,3 kPa and 15 g/m³, respectively, of water.

It shall be stated whether the fuse is suitable for indoor or outdoor service.

Table 4 – Fuse-base rated insulation levels – Series I

Rated voltage of the fuse kV	Rated lightning impulse withstand voltage (negative and positive polarity)				Rated 1 min power-frequency withstand voltage	
	List 1 (peak value) kV		List 2 (peak value) kV		(dry and wet) (RMS value) kV	
	To earth and between poles	Across the isolating distance of the fuse-base ^a	To earth and between poles	Across the isolating distance of the fuse-base ^a	To earth and between poles	Across the isolating distance of the fuse-base ^a
3,6	20	23	40	46	10	12
7,2	40	46	60	70	20	23
12	60	70	75	85	28	32
17,5	75	85	95	110	38	45
24	95	110	125	145	50	60
36	145	165	170	195	70	80
40,5	180	200	190	220	80	95
52	250	290	250	290	95	110
72,5	325	375	325	375	140	160

^a An isolating insulation level should be specified only for those fuse-bases to which isolating properties are assigned.

Table 5 – Fuse-base rated insulation levels – Series II

Rated voltage of the fuse kV	Rated lightning impulse withstand voltage (negative and positive polarity) (peak value) kV				Rated power-frequency withstand voltage (RMS value) kV					
	To earth and between poles		Across the isolating distance of the fuse-base ^a		To earth and between poles			Across the isolating distance of the fuse-base ^a		
	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor 1 min dry	Outdoor		Indoor 1 min dry	Outdoor	
						1 min dry	10 s wet		1 min dry	10 s wet
2,8	45	–	50	–	15	–	–	17	–	–
5,5	60	–	66	–	19	–	–	21	–	–
8,3	75	95	83	105	26	35	30	29	39	33
15,5 to 17,2	95	–	105	–	36	–	–	40	–	–
15,5 to 17,2	110	110	121	121	50	50	45	55	55	50
23 to 27	125	150	138	165	60	70	60	66	77	66
23 to 27	150	–	165	–	60	–	–	66	–	–
38	150	200	165	220	70	95	80	77	105	88
48,3	–	250	–	275	–	120	100	–	132	110
72,5	–	350	–	385	–	175	145	–	193	160

^a An isolating insulation level should be specified only for those fuse-bases to which isolating properties are assigned.

5.2.5 Rated breaking capacity

5.2.5.1 Rated maximum breaking current (I_1)

The rated maximum breaking current in kA of a fuse-link should be selected from the R10 series.

NOTE The R10 series comprises the numbers 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8 and their multiples of 10.

5.2.5.2 Rated minimum breaking current and class

The manufacturer shall indicate the class (see 3.3.2) and, for Back-Up fuses, the rated minimum breaking current. In the case of General-Purpose fuses, the minimum breaking current may also be indicated.

5.2.6 Rated frequency

Standard values of rated frequency are 50 Hz and 60 Hz. It should be noted that fuses are normally tested at either 50 Hz or 60 Hz. However, experience has shown that, while the same fuse design tested at both frequencies at a current that produces a current-limiting action generally exhibits slightly higher peak currents at 60 Hz and slightly higher operating I^2t values at 50 Hz, fuses successfully passing all testing at one frequency are suitable for use at the other frequency.

5.2.7 Temperature limits

5.2.7.1 Surrounding temperature of 40 °C or less

A fuse-link and a fuse-base shall be able to carry their rated current continuously without exceeding the limits of temperature rise (above ambient temperature) given in Table 6, and without deterioration.

Where engaging contact surfaces have different coatings, the permissible temperatures and temperature rises shall be as follows:

- for bolted contacts and terminals, those of the component having the highest values permitted in Table 6;
- for spring-loaded contacts, those of the component having the lowest values permitted in Table 6.

5.2.7.2 Surrounding temperature above 40 °C

When a fuse-link is in an enclosure (FEP), or at elevated ambient temperature, and the surrounding temperature of the fuse-link or canister is above 40 °C, the fuse may be assigned an allowable continuous current at a specified surrounding temperature. A fuse-link and a fuse-base shall be able to carry an assigned allowable continuous current, at a specified surrounding temperature, continuously without exceeding the limits of maximum temperature given in Table 6.

When it is not possible to assign an allowable continuous current (at high surrounding temperatures and with the fuse-link in liquid), a maximum enclosure current (I_{fep}) may be specified. In this case, the maximum values of temperature given in Table 6 may be exceeded by agreement between the manufacturer and user.

NOTE For fuses used in enclosures, see IEC TR 62655:2013, 5.1.1.2 and Annex A.

Table 6 – Limits of temperature and temperature rise for components and materials

Component or material	Maximum value of	
	Temperature °C	Temperature rise K
A Contacts in air:		
1 Spring-loaded contacts (copper or copper alloy)		
– bare	75	35
– silver- or nickel-coated	105	65
– tin-coated	95	55
– other metal coatings ^a		
2 Bolted contacts or equivalent (copper, copper alloy and aluminium alloy)		
– bare	90	50
– tin-coated	105	65
– silver- or nickel-coated	115	75
– other metal coatings ^a		
B Contacts in insulating liquid (copper or copper alloy):		
1 Spring-loaded contacts		
– bare	80	40
– silver-, tin- or nickel-coated	90	50
– other metal coatings ^a	-	-
2 Bolted contacts		
– bare	100	60
– silver-, tin- or nickel-coated	100	60
– other metal coatings ^a	-	-
C Bolted terminals in air:		
– bare	90	50
– silver-, nickel- or tin-coated	105	65
– other metal coatings ^a	-	-
D Metal parts acting as springs^b		
	-	-
E Materials used as insulation and metal parts in contact with insulation of following classes^c:		
Class Y (for non-impregnated materials)	90	50
Class A (for materials immersed in insulating liquid) ^f	100	60
Class E	120	80
Class B	130	90
Class F	155	115
Enamel: oil base	100	60
synthetic	120	80
Class H	180	140
Other classes ^d		-
F Insulating liquid for switchgear type applications^{e, f}		
	90	50
G Any part of metal or of insulating material in contact with insulating liquid except contacts and springs		
	100	60
^a If the manufacturer uses coatings other than those indicated in Table 6, the properties of these materials should be taken into consideration. ^b The temperature or the temperature rise should not reach such a value that the elasticity of the metal is impaired. ^c Classes generally according to IEC 60085. ^d Limited only by the requirement not to cause any damage to surrounding parts. ^e Measured at the upper part of the liquid. ^f Special consideration should be given with regard to vaporisation and oxidation when low-flash-point insulating liquid is used. The quoted values are for oil; the given temperature values may be exceeded for transformer-type applications and/or if synthetic or other suitable insulating liquids are used (see 8.3.4.3 and IEC 60076-7).		

5.2.8 Limits of switching voltage

The value of switching voltages during operation in all test duties shall not exceed those given in Table 7 and Table 8.

On request, the manufacturer shall indicate the maximum value of the switching voltages as determined in the breaking tests (see 7.6).

Table 7 – Maximum permissible switching voltages

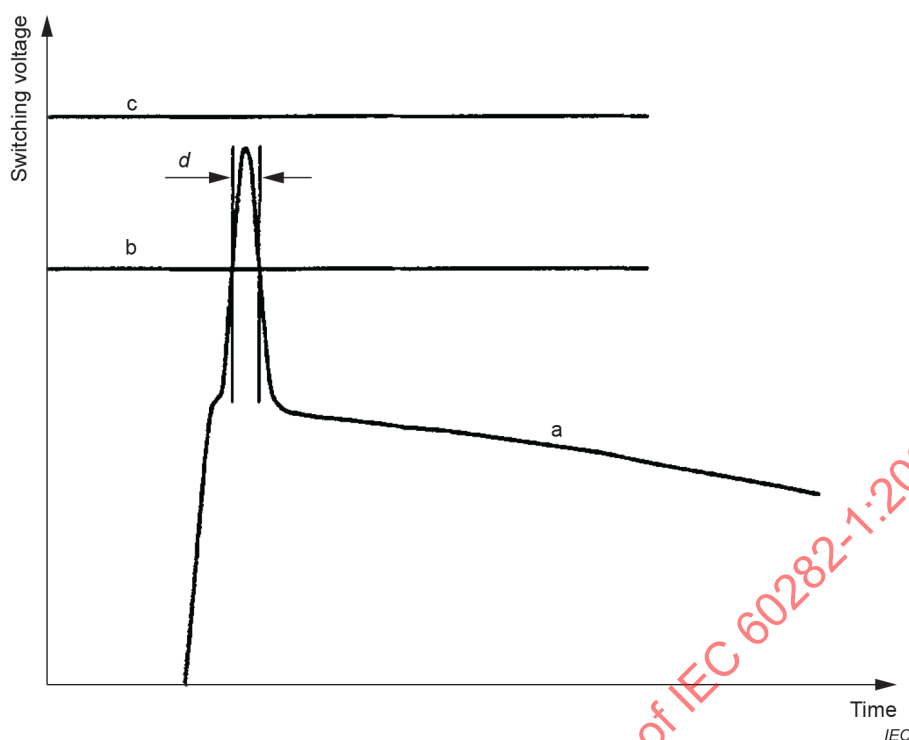
Series I		Series II	
Rated voltage kV	Maximum switching voltage kV	Rated voltage kV	Maximum switching voltage kV
3,6	12	2,8	9
7,2	23	5,5	18
12	38	8,3	26
17,5	55	15,5 to 17,2	49
24	75	23	72
36	112	27	84
40,5	126	38	119
52	162	48,3	150
72,5	226	72,5	226

Table 8 – Maximum permissible switching voltages for certain fuse-links of small current ratings

Series I up to and including 12,5 A		Series II up to and including 12 A	
Rated voltage kV	Maximum switching voltage ^{a, b} kV	Rated voltage kV	Maximum switching voltage ^a kV
3,6	26	2,8	13
7,2	36	5,5	25
12	50	8,3	38
17,5	63	15,5 to 17,2	70
24	85	23	105
36	120	27	123
		38	173

^a For equipment with rated voltages of series I, switching voltages specified in Table 8 are permissible for associated rated lightning impulse withstand voltages of List 2 only (see 5.2.4).

^b The switching voltage values may exceed the limits given in Table 7 for a duration not exceeding 200 µs but shall not exceed the limits given in Table 8 (see Figure 2).



Key

- a Switching-voltage curve
- c Switching-voltage limit – Table 8
- b Switching-voltage limit – Table 7
- d $\leq 200 \mu\text{s}$

Figure 2 – Permissible switching voltages for fuse-links of small current ratings (Table 8)

5.2.9 Time-current characteristics

The time-current characteristics of fuse-links are based on applying current to a new and unloaded fuse-link in a fuse-base specified by the manufacturer and connected to the test circuit with conductors having sizes and lengths as specified in 7.5.1.2.

Unless otherwise specified, the time-current characteristics shall be deemed to apply at an ambient air temperature of 20 °C.

The manufacturer shall make available curves from the data determined by the time-current characteristics type tests specified in 7.7.2.

The time-current characteristics shall be presented with current as abscissa and time as ordinate.

Logarithmic scales shall be used on both coordinate axes. The basis of the logarithmic scales (the dimensions of one decade) shall be in the ratio 2:1 with the longer dimension on the abscissa. However, because of long-established practice in the USA, a ratio of 1:1 (5,6 cm) is recognised as an alternative standard.

The representation shall be made on standardised paper A3 or A4, or according to the USA standard.

The dimensions of the decades shall be selected from the following series:

2 cm; 4 cm; 8 cm; 16 cm and 2,8 cm; 5,6 cm; 11,2 cm.

It is recommended to use 2,8 and 5,6, wherever possible.

The curves shall show

- the relation between the virtual pre-arcing time and the prospective current;
- the basis of current, whether mean or minimum. If mean current values are used, the tolerance shall not exceed $\pm 20\%$. If minimum values are used, the tolerance shall not exceed $+50\%$;
- the type and current rating of the fuse-link to which the curve data apply;
- the time range as specified in 7.7.2.2. For Back-Up fuses, a dotted line shall be plotted from minimum breaking current to 600 s if the minimum breaking current corresponds to a time less than 600 s.

5.2.10 Cut-off characteristic

The manufacturer shall indicate the upper limit of the cut-off current corresponding to each value of prospective breaking current up to the rated maximum breaking current of the fuse under specified conditions determined as part of the breaking type tests specified in 7.6.

It shall be stated whether the characteristic applies to 50 Hz or 60 Hz.

5.2.11 I^2t characteristics

The manufacturer shall make available values of operating I^2t and pre-arcing I^2t for those prospective currents for which the fuse exhibits cut-off characteristics.

Values stated for the operating I^2t shall represent the highest values likely to be experienced in service. These values shall refer to the test conditions of this document, for example, the values of voltage, frequency and power factor.

Values stated for the pre-arcing I^2t shall represent the lowest values likely to be experienced in service.

The presentation of I^2t values may be in simple tabular or diagrammatic form (for example, histograms) or may employ graphical presentation with prospective current as abscissa and I^2t as ordinate, both scales being logarithmic with preferred dimensions as in 5.2.9.

The I^2t values determined as a part of the breaking type tests specified in 7.6 shall not be greater (for operating I^2t) or less (for pre-arcing I^2t) than the values stated by the manufacturer.

5.2.12 Power dissipation

The manufacturer shall make available values of power dissipation of a fuse-link at 50 % and 100 % of the rated current of the fuse-link (see 7.5.3).

5.3 Ratings and characteristics of particular fuse-link types and applications

5.3.1 Fuse-links for transformer applications

While fuse-links are most commonly used for transformer applications, there are no special characteristics specified. However, there are many application recommendations, generally relating to a fuse-link's time-current characteristics, and these can be found in IEC TR 62655:2013.

5.3.2 Fuse-links for motor circuit applications

Special characteristics for fuse-links for motor circuit applications are found in IEC 60644, as well as additional testing requirements.

5.3.3 Fuse-links for capacitor protection

Current-limiting fuse-links for capacitor protection have no special characteristics specified, but they are tested in accordance with this document and with additional testing requirements covered by IEC 60549.

5.3.4 Fuses fitted with indicating devices

5.3.4.1 General

Fuses may be fitted with devices to indicate that they have operated (melted and/or interrupted or in the case of a thermally triggered device, reached the triggering temperature). Devices covered by this document include indicators and strikers that are an integral part of a fuse-link. An indicator merely gives visual indication of fuse operation and provides no guaranteed force to operate auxiliary devices (such as tripping a series connected switch). A striker has a defined force/distance profile and is usually used to trip an auxiliary device.

The correct operation of the striker in combination with the tripping mechanism of the switching device is outside the scope of this document; see IEC 62271-105.

5.3.4.2 Indicator characteristics

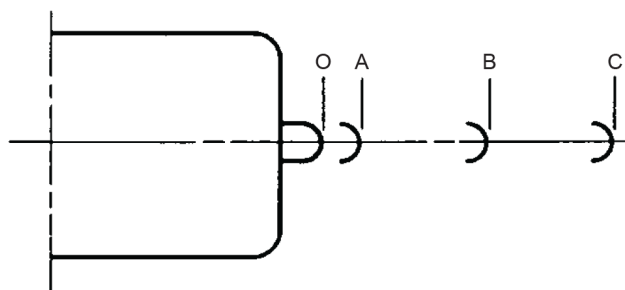
There are no specific characteristic requirements for an indicator, other than it should be readily visible that the indicator has deployed after a fuse operation.

5.3.4.3 Striker mechanical characteristics

Three types of striker, light, medium, and heavy, are classified by the amount of energy they are able to deliver to a mechanical switching device, or a signalling device, between two points A and B (see Figure 3) of their travel and, for medium and heavy types, by a minimum withstand force. The withstand force is the characteristic which prevents the return of the striker, after operation, to less than the minimum actual travel (OB) when a static external force is applied.

NOTE A striker normally performs the function of an indicator.

The mechanical characteristics of the strikers are given in Table 9.



IEC

Key

- OA Free travel – No energy output specified
 AB Further travel during which the specified energy shall be delivered
 OB Minimum actual travel
 OC Maximum actual travel
 CB Maximum permitted return travel under withstand force (when applicable)

Figure 3 – Various stages of the striker travel**Table 9 – Striker mechanical characteristics**

Type	Energy	Mechanical characteristics					
		Values of		Actual travel		Minimum withstand force	Maximum duration of travel ^b
		Free travel (OA) ^a	Further travel during which energy shall be delivered (AB) ^a	Min. (OB) ^a	Max. (OC) ^a		
	J	mm	mm	mm	mm	N	ms
Light	0,3 ± 0,25	2	8	10	30	Not applicable	50
Medium	1 ± 0,5	4	16	20	40	20	50
Heavy	2 ± 1	4	6	10	16	40	50

^a See Figure 3.

^b Duration of travel is defined as the time from commencement of arcing to the time when travel OB is reached. The minimum arcing withstand time of 100 ms (5.3.5.3) is sufficient to cover this 50 ms plus an additional time of 50 ms to allow for the switching device operating time.

5.3.4.4 Thermally operated strikers

Thermally operated strikers are used as a method of reducing fuse temperatures before electrical striker operation, primarily at lower currents. It is possible for a thermally operated striker to operate with the main fuse elements still intact. They are normally used in fuse enclosure packages (particularly in canisters), and because of the different designs and materials used, the different relative positions of the fuse (e.g. horizontal or vertical) and different fuse sizes, it is not possible to specify any limiting values for operating time or tripping temperature.

The mechanical characteristics of the strikers according to 5.3.4.3 are also valid for thermal strikers.

5.3.5 Back-Up fuses intended for use in a switch-fuse combination according to IEC 62271-105

5.3.5.1 General

For such applications, it is necessary to ensure that

- a) when installed in its service environment, the fuse is able to withstand currents below minimum breaking current during the pre-arcing phase (i.e. just prior to actual fuse melting) without thermal damage to itself or its surroundings;
- b) the fuse arcing withstand time without damage (see 5.3.5.3 and 8.3.3.3) at currents just below fuse minimum breaking current is longer in duration than the tripping time of the associated switch.

5.3.5.2 Maximum body temperature under pre-arcing conditions

For Back-Up fuses intended for use in striker-tripped fuse-switch combinations according to IEC 62271-105, the fuse manufacturer shall define the maximum body temperature that may be reached with any current above the minimum melting current, and the corresponding current value.

A procedure to determine this temperature and current value is given in 8.3.3.2. In the case of homogeneous series, it is sufficient to perform the test on the fuse having the highest current rating.

5.3.5.3 Maximum arcing withstand time

The arcing withstand time is the time between the beginning of the arcing and the occurrence of external damage to the fuse. The fuse manufacturer shall provide information regarding the maximum arcing withstand time, at a current value between 70 % and 100 % of rated minimum breaking current.

This time shall be at least 0,1 s. The testing procedure is described in 8.3.3.3.

5.3.6 Allowable continuous current of a fuse-link (I_a)

The current assigned to a fuse-link that a new clean fuse-link will carry continuously, at a specified surrounding temperature, without exceeding specified maximum temperatures when mounted as specified by the manufacturer. The surrounding temperature may exceed 40 °C (see IEC TR 62655:2013).

NOTE It is possible for allowable continuous current values to be higher than, equal to, or lower than the assigned rated current (I_r). For example, higher values of allowable continuous current are primarily associated with certain fuse designs, while the more usual situation of lower values of allowable continuous current are normally associated with elevated surrounding temperatures and/or specific application conditions. It is also possible for a particular fuse-link to have several allowable continuous currents specified (e.g. each at a different surrounding temperature) or to have allowable continuous current defined by a formula related to surrounding temperature.

5.3.7 Maximum enclosure current (I_{fep})

The current assigned to a fuse-link by the FEP manufacturer that a new clean fuse-link will carry continuously, at a specified surrounding temperature above 40 °C, when mounted as specified by the manufacturer and immersed in liquid. A fuse-link will have multiple values of I_{fep} depending on the enclosure and surrounding temperature. (See IEC/TR 62655:2013.) The maximum values of temperature given in Table 6 may be exceeded, but only by agreement between the manufacturer and user. The maximum enclosure current is used for the liquid tightness test (8.3.4).

6 Design, construction and performance

6.1 General requirements with respect to fuse operation

6.1.1 General

When used in systems with service voltages less than the rated voltage of the fuse, the maximum breaking current is not less than the rated maximum breaking current.

Current-limiting fuses should not be used in systems of voltages less than their rated voltage without regard to the switching voltage produced by the fuse during operation in relation to the insulation level.

No tests have been specified to prove the performance of the fuse in the range of currents below that specified in the breaking tests in 7.6 with respect to its capability to withstand the current of every possible time/current combination without deterioration leading to either premature operation or failure (see IEC TR 62655:2013).

6.1.2 Standard conditions of use

Testing specified in this document is intended to demonstrate the suitability of a fuse for use under the following conditions:

- a) the AC component of current is not higher than the rated maximum breaking current;
- b) the AC component of a current that the fuse is intended to interrupt is not lower than:
 - the rated minimum breaking current for a Back-Up fuse;
 - the current that causes melting in 1 h for a General-Purpose fuse;
 - the rated current for a Full-Range fuse;
- c) the surrounding temperature is not higher than the maximum application temperature (MAT), for fuses that have been assigned a MAT. In the case of a Full-Range fuse that has an assigned MAT, there is no low current restriction;
- d) the highest system voltage is not greater than the rated voltage of the fuse-link, if used in a three-phase solidly earthed neutral system or low impedance – or low resistance-earthed neutral system;
- e) the highest system voltage is not greater than 87 % of the rated voltage of the fuse-link, if used in a three-phase isolated neutral system or a resonant earthed system and the fuse-links have been tested to Series I voltage in accordance with Table 11. This is because a double earth fault (with one fault on the supply side and one fault on the load side of a fuse on another phase) can occur.

It may be noted that a higher maximum system voltage than 87 % of the rated voltage of the fuse-link is acceptable when additional or alternative tests have been performed on the fuse (see IEC TR 62655:2013, 5.1.3.3);

- f) the highest single-phase voltage to which the fuse-link is subjected during and after current interruption is not greater than 87 % of the rated voltage of the fuse-link, if used on a single-phase application and the fuse-links have been tested to a Series I voltage and in accordance with Table 11.

It may be noted that a higher maximum voltage than 87 % of the rated voltage of the fuse-link is acceptable when additional or alternative tests have been performed on the fuse (see IEC TR 62655:2013, 5.1.3.3);

- g) the highest system voltage on a three-phase system or single-phase voltage on a single-phase application is not greater than the rated voltage of the fuse-link, if the fuse-link has been tested to a Series II voltage and in accordance with Table 11, footnote b;
- h) the prospective transient recovery voltage is within the limits represented by the tests specified in 7.6.1.4;
- i) the frequency is between 48 Hz and 62 Hz;

- j) the power factor is not lower than specified in Table 11;
- k) the prospective TRV wave, while passing through the delay line and not recrossing it, does not exceed the reference line with the parameters specified in 7.6.1.4.

NOTE 3 As regards the prospective TRV characteristics, the time coordinate t_3 is not significant for the behaviour of fuses (except for those fuses which cause high arc-voltage peaks immediately after arc initiation; see 7.6.1.5.3).

It is considered that fuses will be capable of breaking correctly any value of prospective current, irrespective of the possible DC component, provided that the preceding requirements have been met.

6.1.3 Standard conditions of behaviour

According to the conditions of use indicated in 6.1.2, the behaviour of the fuse shall be as follows.

- a) A fuse-link using arc extinguishing material shall not emit flame or arc extinguishing material, although a minor emission of flame from a striker or indicating device is permissible, provided this does not cause breakdown or significant electrical leakage to earth.
- b) After the fuse has operated, the components of the fuse, apart from those intended to be replaced after each operation, shall be in the original state. It shall be possible to remove the fuse-link in one piece after operation.
- c) When fuse-links are provided with indicating devices or strikers:
 - 1) indicating devices need not comply with specific requirements, but shall visually and fully operate;
 - 2) strikers shall comply with the requirements specified in 5.3.4.3 and shall operate fully;
 - 3) the operation of a thermal striker before fuse-element melting during a Test Duty 3 test shall not be considered a fuse failure.
- d) Operation shall not generate switching voltages higher than the values specified in 5.2.8.
- e) The values of cut-off current corresponding to each value of prospective breaking current shall not exceed the values corresponding to the cut-off characteristics given by the manufacturer.
- f) After operation, the fuse shall be capable of withstanding the power-frequency recovery voltage across its terminals.

6.2 Identifying markings

The identifying markings which shall be indelibly marked on fuse-links and fuse-bases are given below.

It may be noted that when the physical dimensions of the fuse-link are so small as to make it impossible for such markings to include the indications given below, alternative methods may be adopted.

The figures representing ratings shall, in all cases, be followed by the symbol of the unit in which they are expressed.

- a) On the fuse-base
 - manufacturer's name or trade mark;
 - manufacturer's type designation;
 - rated voltage;
 - rated current.

b) On the fuse-link

- manufacturer's name or trade mark;
- manufacturer's type designation;
- rated voltage;
- rated current;
- rated maximum breaking current;
- class (Back-Up, General-Purpose, Full-Range);
- rated minimum breaking current (for Back-Up fuses only);
- maximum application temperature (for fuse-links designed for use in surrounding temperatures above 40 °C tested in accordance with Annex E);
- type of striker (light, medium or heavy), if any;
- location of the striker (if applicable);
- identifying date code (minimum of month and year).

It shall also be indicated on both fuse-link and fuse-base, when applicable, if they are designed for outdoor service, or for use in insulating liquid, unless this information is included in the type designation or identification code.

6.3 Dimensions

While this document contains no normative requirements for overall fuse dimensions, informative Annex D contains a collection and classification of types and dimensions specified in the various existing national standards.

7 Type tests performed on all fuses**7.1 Conditions for making the tests**

Type tests are made to check whether a type or particular design of fuse corresponds to the characteristics specified and functions satisfactorily under normal behaviour conditions. Type tests are made on samples to check the specified characteristics of all fuses of the same type.

These tests shall be repeated only if the design is modified in a way which might modify the performance.

Tests made on fuse-links fitted with strikers or indicators are valid for fuse-links otherwise identical but without strikers or indicators.

For convenience of testing, and with the previous consent of the manufacturer, the values prescribed for the tests, particularly the tolerances, can be changed so as to make the test conditions more severe. Where a tolerance is not specified, type tests shall be carried out at values no less severe than the specified values, the upper limits being subject to the consent of the manufacturer.

Tests specified in this document are, in principle, type tests, and methods of sampling for acceptance tests are not given.

If the user wishes to make acceptance tests, these tests shall be selected from the type tests, after agreement between manufacturer and user.

Where tests are made on a fuse whose report of type tests has already been accepted, the responsibility of the manufacturer to the user is limited to the least onerous of the specified values and not to the values obtained during the type tests. For example, although breaking

tests may have been made at 103 % of the specified power-frequency recovery voltage, nevertheless the manufacturer is not liable for any performance figures exceeding 100 % of the specified power-frequency recovery voltage.

7.2 List of type tests

The type tests to be conducted on all fuses upon completion of a design or following a change that affects the performance are the following:

- dielectric tests (fuse-base only) (7.4);
- temperature-rise tests and power-dissipation measurement (7.5);
- breaking tests (7.6);
- tests for time-current characteristics (7.7).

7.3 Common test practices for all type tests

7.3.1 General

The results of all type tests shall be recorded in type-test reports containing the data necessary to prove compliance with this document.

The following shall be common test practices, unless otherwise specified.

7.3.2 Mounting of fuse-link

The fuse-link shall be tested on a fuse-base as specified by the manufacturer of the fuse-link, unless the fuse-link is not intended to be installed in a fuse-base, in which case the manufacturer's mounting instructions shall be followed.

7.3.3 Condition of device to be tested

The device shall be new, clean and in good condition. Before the tests are made, with the exception of dielectric tests, the resistance of each fuse-link shall be measured with a current not exceeding 10 % of the rated current. The value of resistance shall be recorded together with the ambient air temperature at which the measurement was taken.

7.3.4 Mounting of fuses

The fuse to be tested shall be mounted on a rigid earthed metal structure in the normal service position for which it is designed.

Fuses used in a fuse enclosure package (FEP) shall be mounted in accordance with the FEP or fuse manufacturer's specifications. The enclosure and base of the device shall be earthed, if applicable.

Earthing is not required for temperature rise tests (7.5) and time-current tests (7.7).

Unless otherwise specified, the connections shall be so positioned that the normal clearances are not reduced.

7.4 Dielectric tests

7.4.1 Test practices

7.4.1.1 General

Dielectric test practices shall be as specified in 7.3 and as follows.

NOTE Fuse-links cannot be tested as separate devices either in the intact or in the operated state.

7.4.1.2 Mounting

For multipole arrangements of fuses, and when the distance between poles is not fixed by their construction, it is necessary, for test purposes, to provide the minimum distance between poles as specified by the manufacturer.

7.4.1.3 Electrical connections

Electrical connections shall be made by means of bare conductors connected to each terminal. These conductors shall project from the terminals of the fuse in a straight line substantially parallel to the fuse-link for an unsupported distance of at least the isolating distance of the fuse.

7.4.2 Application of test voltage for impulse and power-frequency test

The test voltage specified in Table 4 and Table 5 for the fuse under test shall be applied successively with one terminal of the output of the impulse generator and one point of the power-frequency source connected to earth.

a) Between terminals and all earthable metal parts:

- 1) with the fuse including the fuse-link ready for service;
- 2) with the fuse-link removed.

For multi-pole arrangements of fuses test:

- between all live parts of all poles connected together and the earthable metal parts;
- between the terminals of each pole and the earthable metal parts with all the live parts of the other poles connected to the earthable metal parts.

b) Between terminals: these tests are made on fuse-bases only.

The earthable metal parts shall be connected to earth if isolating properties are not assigned to the fuses. If isolating properties are assigned to the fuse, earthable metal parts shall either be insulated from the earth or connected to the mid-point of the source.

For multi-pole arrangements of fuses, the terminals of one side should be connected together and the terminals of the opposite side should be connected together.

7.4.3 Atmospheric conditions during test

The test shall be made at atmospheric conditions as near as possible to the standard conditions specified in 4.3.1 of IEC 60060-1:2010.

The correction factors for air density and for air humidity, as given in 4.3 of IEC 60060-1:2010, may be used for fuses pending further information.

7.4.4 Lightning impulse voltage dry tests

Fuses shall be subjected to lightning impulse voltage dry tests with 1,2/50 impulses in accordance with Clause 7 of IEC 60060-1:2010.

Fifteen consecutive impulses at the rated lightning impulse withstand voltages specified in Table 4 and Table 5 shall be applied as follows:

- at the rated withstand voltage to earth and between poles for all the test conditions specified in a) of 7.4.2;
- at the rated withstand voltage to earth and between poles for the test condition b) of 7.4.2 if isolating properties are not assigned to the fuse-base;
- at the rated withstand voltage across the isolating distance for the test condition b) of 7.4.2 if isolating properties are assigned to the fuse-base.

The fuse shall be considered to have passed the test successfully if the number of disruptive discharges to earth, between poles or between terminals on self-restoring insulation, does not exceed two for each test condition and if no disruptive discharge on non-self-restoring insulation occurs in accordance with IEC 60071-1.

The fuse shall be capable of passing the specified tests with voltages of both positive and negative polarity, but where there is evidence as to which polarity will give the lower breakdown voltage, it shall suffice to test with that polarity only.

7.4.5 Power-frequency voltage dry tests

Fuses shall be subjected to 1 min, power-frequency voltage dry tests as specified in IEC 60060-1.

The test circuit (transformer with voltage-regulating device) shall have a short-circuit current of at least 0,2 A. It is permissible to check the magnitude of the current at approximately one-tenth of the specified voltage.

The values for the rated 1 min, power-frequency withstand voltage tests are specified in Table 4 and Table 5. The tests shall be made at the following values:

- at the rated withstand voltage to earth and between poles for all the test conditions specified in a) of 7.4.2;
- at the rated withstand voltage to earth and between poles for the test conditions b) of 7.4.2 if isolating properties are not assigned to the fuse-base;
- at the rated withstand voltage across the isolating distance for the test condition b) of 7.4.2 if isolating properties are assigned to the fuse-base.

If flashover or puncture occurs, the fuse shall be considered to have failed the test.

7.4.6 Power-frequency wet tests

Outdoor type fuses shall be subjected to power-frequency voltage wet tests under the same conditions as specified in 7.4.5. However, if a disruptive discharge on self-restoring external insulation occurs, this test shall be repeated with the same test conditions and the fuse shall be considered to have passed this test successfully if no further disruptive discharge occurs.

During these tests, the fuses shall be subjected to artificial rain at an angle of 45° to the vertical, the test procedure being in accordance with 4.4 of IEC 60060-1:2010.

7.5 Temperature-rise tests and power-dissipation measurement

7.5.1 Test practices

7.5.1.1 General

Temperature-rise tests and power-dissipation measurement shall be made as specified in 7.3 on one fuse and as follows.

7.5.1.2 Test sample

The fuse-link shall be of the highest current-rating in each body size and configuration for use in a fuse-base or mounting means specified by the fuse manufacturer.

7.5.1.3 Arrangement of the equipment

The test shall be made in a closed room substantially free from air currents, except those generated by heat from the device being tested.

The fuse in air shall be mounted vertically, unless another orientation is specified by the manufacturer, and connected to the test circuit by bare copper conductors as follows: each conductor shall be approximately 1 m long, mounted in a plane parallel to the mounting surface of the fuse, but it may be in any direction in this plane. The sizes of the leads are given in Table 10.

Table 10 – Electrical connection to the test circuit – Conductor sizes

Current rating of the fuse-link ^a A	Size of bare copper conductors ^b mm ²
Up to and including 25	From 20 to 30
Above 25 up to and including 63	From 40 to 60
Above 63 up to and including 200	From 120 to 160
Above 200 up to and including 400	From 250 to 350
Above 400 up to and including 630	From 500 to 600
Above 630 up to and including 1 000	From 800 to 1 000
^a For fuse-links in parallel, the current rating to be considered is the total current assigned by the manufacturer. ^b The equivalent area in MCM (thousands of circular mils) can be obtained by multiplying the numbers in mm ² by two.	

Liquid-tight fuse-links shall be tested in a liquid-filled enclosure designed to simulate service conditions. The volume of this enclosure shall be about 30 times the volume of the fuse-link under test. The fuse-link shall be immersed in such a manner that the liquid is equally distributed around the fuse-link. Annex C gives an example of preferred testing arrangements for fuse-links up to 200 A in accordance with data sheet II of Annex D. The test conductors external to the tank shall be arranged as given in the preceding paragraph, with the sizes as given in Table 10. The insulating liquid to be used shall be one approved by the fuse manufacturer.

Normal clearances need not be provided.

Tests shall be made with the rated current of the fuse-link and at a frequency of 62 Hz or lower (including DC). Each test shall be made over a period of time sufficient for the temperature rise to reach a constant value (for practical purposes, this condition is regarded as being obtained when the increase of temperature rise does not exceed 1 K/h).

The temperature rise of the various parts of the fuse shall not exceed the values specified in 5.2.7.

A thermally operated striker, if fitted, shall not deploy during the test.

7.5.2 Measurement of temperature

7.5.2.1 Temperature of fuse parts

The temperature of the various parts for which limits are specified shall be determined by devices such as thermocouples or contact elements located and secured to provide good heat conduction at the hottest accessible spot. The temperature rise shall be recorded at regular intervals throughout the test when the calculation of the thermal time constant is needed.

The surface temperature of a component immersed in a liquid dielectric shall be measured only by thermocouples attached to the surface of this component. The temperature of the liquid dielectric itself shall be measured below, close to the device (that is, in the liquid that cools the device).

7.5.2.2 Ambient air temperature

The ambient air temperature is the average temperature of the air surrounding the fuse (for enclosed fuses, it is the air outside the enclosure). It shall be measured during the last quarter of the test period by taking the reading from a thermocouple (or thermometer) placed between 30 cm and 1 m from the side of the device. The thermometers or thermocouples shall be protected against air currents and undue influence of heat.

In order to avoid indication errors because of rapid temperature changes, the thermometers or thermocouples may be put into small oil-filled bottles with oil contents of about half a litre.

During the last quarter of the test period, the change of ambient air temperature shall not exceed 1 K in 1 h. If this is not possible because of unfavourable temperature conditions in the test room, the temperature of an identical fuse under the same conditions, but without current, can be taken as a substitute for the ambient air temperature. This additional fuse shall not be subjected to an undue amount of heat.

The ambient air temperature during tests shall be between +10 °C and +40 °C. No correction of the temperature-rise values shall be made for ambient air temperature within this range.

7.5.3 Measurement of power dissipation

Measurement of the power dissipation (of a fuse-link) shall be made during the temperature-rise test. Two values shall be measured, one at 50 % and the second at 100 % of the rated current of the fuse-link. The voltage shall be measured on the fuse-link contacts as close as possible to the point of contact with the immediately mating contact piece. Measurement shall be made when the voltage drop (the temperature) has reached a steady-state value for the current value considered. The power dissipation is expressed in watts. For a high-voltage fuse, the product of voltage drop and current is considered a sufficient approximation to the power dissipation of a fuse-link.

NOTE Switchgear manufacturers and users who incorporate fuses into their equipment can take account of the power dissipation values to determine derating factors for different types of fuses fitted into their equipment. The power dissipation value is not the only parameter to define derating factors.

7.6 Breaking tests

7.6.1 Test practices

7.6.1.1 General

Breaking test practices shall be as specified in 7.3 and as follows.

7.6.1.2 Description of tests to be made

Tests shall be made according to the instructions given in Table 11 and shall include at least three test duties, giving the most severe breaking conditions throughout the range of operating currents.

Test Duty 1: Verification of operation with the rated maximum breaking current I_1 .

Test Duty 2: Verification of the operation with prospective current I_2 at which current limitation occurs when a high level of energy is stored in the inductance of the circuit (see Note 1 below).

NOTE 1 The appropriate current, I_2 , to meet the requirements of Test Duty 2 specified in Table 11 is based on the design of the fuse-link. If the current has not been determined, based on previous experience or analysis, one or more of the following methods provides an estimate of the value of the current I_2 needed to comply with the requirements. The accuracy of each method (i.e. how close the calculated current is to a prospective current that actually meets the requirements of Table 11) will depend on the fuse-link design.

- a) From the following equation, if one test at a current 150 times the current rating or higher has been made under symmetrical fault initiation in Test Duty 1:

$$\text{Estimated } I_2 = i_1 \sqrt{\frac{i_1}{I_1}}$$

where

i_1 is the instantaneous current at instant of melting in Test Duty 1;

I_1 is the prospective current in Test Duty 1.

- b) The estimated I_2 is a current value between three and four times the current which corresponds to a pre-arcing time of one half-cycle on the time-current characteristic (see 7.7 and 5.2.9).
- c) If a time-current characteristic curve exists for virtual times less than 0,010 s, the estimated I_2 equals a value corresponding to the current at a time of 0,08 normal half-cycle on this time-current characteristic curve.

Test Duty 3: Verification of operation at current I_3 :

- for Back-Up fuses, I_3 is the rated minimum breaking current;
- for General-Purpose fuses, I_3 is the current that causes melting in 1 h or more;
- for Full-Range fuses, I_3 is equal to the rated current of the fuse-link. This is in order to allow for the possibility of severe derating which would bring the value of minimum melting current down to near to the fuse rated current.

Test I_t : for fuse-links that exhibit crossover current(s) (see 7.6.1.2).

In the case of fuses that incorporate different arc-quenching mechanisms within the same physical envelope (for example, current-limiting elements and expulsion elements in series), Test Duties 1, 2 and 3 above shall be augmented by additional tests to prove correct operation in the region(s) of current I_t where the breaking duty is transferred from one breaking mechanism to another. Since fuse designs differ widely, specifying precise test requirements, applicable to all designs, is not possible. It is the responsibility of the fuse manufacturer to confirm by the I_t breaking test that the breaking mechanisms are operating correctly to effect proper current interruption within the transitional current region. Typical criteria used by the manufacturer in assessing compliance with this requirement are discussed in Annex F.

Additional breaking test requirements for fuse-links intended for use at surrounding temperatures above 40 °C are covered in Annex E.

Values of I_1 , I_2 , I_3 and I_t are the RMS values of the AC component of the current.

If, in carrying out the tests in accordance with Test Duty 2, the requirements of Test Duty 1 are completely met on one or more tests, then these tests need not be repeated as part of Test Duty 1.

In very exceptional cases, the current I_2 may be higher than the rated maximum breaking current I_1 . Test Duties 1 and 2 shall then be replaced by six tests at rated maximum breaking current with making angles as nearly as possible equally distributed with approximately 30 electrical degrees between each. (The parameters used will be those of Test Duty 2 (see Table 11) except for the making angle and value of instantaneous current at initiation of arcing.)

If it is impossible in Test Duty 1 to initiate arcing as early as 65 electrical degrees after voltage zero, even by making at the earliest permissible angle, the requirement of one test with the initiation of arcing from 40 to 65 electrical degrees after voltage zero is replaced by an additional test (making a total of three) with initiation of arcing from 65 to 90 electrical degrees after voltage zero.

It is not necessary to make breaking tests on fuse-links of all current ratings of a homogeneous series; see 7.6.4 for the requirements to be met and tests to be made.

A homogeneous series of Back-Up fuse-links can also be approved without breaking tests by interpolation between the results of tests of related homogeneous series of fuse-links of higher and lower rated voltages; see 7.6.5 for the requirements to be met.

NOTE 2 Series I voltages are based on system insulation voltages and Series II voltages are based on system insulation voltages and certain operational requirements (including additional voltages). To be suitable, therefore, for some applications that use Series II voltages (generally North American style systems), Test Duty 1 and Test Duty 2 tests using Series II voltages are performed at the fuse rated voltage (Table 11, footnote b).

7.6.1.3 Test I_t (for fuse-links that exhibit cross-over current)

In general, a minimum of two tests shall be performed at each of the two following values:

$$I_{t1} = 1,2 I_t (\pm 0,05 I_t)$$

and

$$I_{t2} = 0,8 I_t (\pm 0,05 I_t)$$

where I_t is the value of crossover current provided by the fuse manufacturer.

If it is known that these values do not represent the most onerous conditions for the given design of fuse, then the manufacturer may nominate other values of I_{t1} and I_{t2} .

The parameters to be used when performing the tests, depending on the values of the cross-over current I_t , are as follows:

- I_t in the short-circuit (current-limiting) range: all test conditions as given in Table 11 as appropriate for the test current;
- I_t in the low over-current range, i.e. below 12 times rated current: power factor and power frequency recovery voltage as specified for Test Duty 3;
- I_t in the intermediate current range:
 - Power frequency recovery voltage: rated voltage $^{+5}_0$ %;
 - Power factor:
 - 0,3 to 0,4 lagging if the cross-over current I_t is between 12 and 25 times rated current I_r ;
 - 0,2 to 0,3 lagging if the cross-over current I_t is between 25 times rated current I_r and I_2 ;
 - TRV: Specified by the fuse-link manufacturer, so as to represent typical values found in circuits for which the fuse-link is intended as being suitable for use, based on the necessary test currents. Guidance as to appropriate values of TRV may be obtained from test standards for other switching devices intended for use under similar circumstances.

The tests should be performed in the current region where there is an abrupt or gradual cross-over of breaking duty from one breaking mechanism to another. Test current values are to be provided by the manufacturer. Typical criteria used by the manufacturer in assessing compliance with this requirement are discussed in Annex F.

Table 11 – Breaking tests – Parameters

Parameters	Test duties		
	1 ^a	2	3
Power-frequency recovery voltage	(0,87 × rated voltage) $+5\%$ ₀ ^b		Rated voltage $+5\%$ ₀
Prospective TRV characteristics	See 6.6.1.4		Not specified
Power factor	From 0,07 to 0,15 ^c		0,4 to 0,6
Prospective current (RMS value of the AC component)	I_1 $+5\%$ ₀	I_2	I_3 0% ₋₁₀ ^d
Instantaneous current at initiation of arcing	Not applicable	From 0,85 I_2 to 1,06 I_2	Not applicable
Making angle	Not before voltage zero	From 0° to 20° after voltage zero	Random timing ^e
Initiation of arcing after voltage zero	For one test: From 40° to 65° For two tests: From 65° to 90°	Not applicable	Not applicable
Maintained voltage after breaking	Not less than 15 s	Not less than 60 s or 5 min ^f	
Number of tests	3	3	2
^a Since the operating conditions can produce a wide variety of stresses on the fuse and, as the breaking tests are intended in principle to produce the most severe conditions mainly as regards the arc energy and the thermal and mechanical stresses for this value of current, it is recognised that these conditions will be practically obtained at least once, when making the three tests indicated. ^b Tests made using voltages from Series II (5.2.1) shall be performed at rated voltage (+5 %, –0 %). ^c When the manufacturer agrees, the lower limit does not apply. ^d When testing station limitations prevent the maintenance of constant current, the tolerance on the current can be exceeded in either direction during not more than 20 % of the total melting time, provided that the current at the initiation of arcing is within the tolerance specified for Test Duty 3. ^e The making angle may be random providing that the melting time of the fuse is greater than 0,1 s. If the melting time is 0,1 s or less, a making angle of arccos (power factor) ± 10° shall be used (to give an approximately symmetrical current). A circuit power factor lower than 0,4 shall not be used for this test. ^f For an organic fuse-link, the maintained voltage period after breaking shall be not less than 5 min for the following specific cases: Test Duty 2: for Back-Up, General-Purpose, and Full-Range types Test Duty 3: for General-Purpose and Full-Range types These longer periods of maintained voltage apply only to the largest current rating of a homogeneous series, and do not apply where such fuses are intended only for use in striker-tripped switch-fuse combinations.			

7.6.1.4 General characteristics of the test circuit

The breaking tests shall be made with single-phase alternating current and with single fuses.

Where test station limitations make it difficult for the full value of recovery voltage to be maintained for the specified duration, the test circuit may be switched to an auxiliary source. Such changeover shall not be made until a time of at least 10 s has elapsed from current interruption. Any necessary circuit interruption to effect the changeover shall not exceed 0,2 s duration. The auxiliary source shall be capable of supplying a current of at least 1 A, while maintaining the specified recovery voltage for the remainder of the specified duration. Any breakdown of the fuse during the voltage-holding period (i.e. an increase in leakage current through the fuse to 1 A or more) shall be considered an unsuccessful fuse interruption. Current monitoring may be by any convenient method. One acceptable method is to trip a circuit breaker used to protect the auxiliary source.

The circuit elements used to control the current and power factor shall be in series relationship with each other and with the fuse, as shown in Figure 7 and Figure 8. No reactors shall be used that are vulnerable to saturation.

The test-circuit frequency shall be between 48 Hz and 62 Hz.

It is recommended that there be no distortion of the power-frequency recovery voltage that can readily be seen by inspection of the oscillogram. The test circuit waveshape shall meet the requirements of a sinusoidal voltage as specified in IEC 60060-1.

A measuring system with appropriate frequency response shall be provided for switching voltage measurement during Test Duties 1, 2 and I_t . For Test Duty 3, this measuring system may be replaced by a sphere-gap or a device of equivalent response.

Switching voltage protective equipment used in the test circuit shall be such that no operation occurs during the normal interrupting operation of the fuse, since a parallel path through protective equipment may reduce the duty on the fuse.

7.6.1.5 Transient recovery voltage (TRV)

7.6.1.5.1 Representation of TRV

The waveform of transient recovery voltage varies according to the arrangement of the actual circuits.

For fuses covered by the scope of this document, the transient recovery voltage approximates to a damped single-frequency oscillation. This waveform is adequately described by an envelope (reference line) consisting of two line segments defined by means of two parameters (see Annex A).

The influence of local capacitance on the source side of the fuse produces a slower rate of rise of the voltage during the first few microseconds of the TRV. This is taken into account by introducing a time delay (t_d) and a delay line.

The following parameters are used for the representation of the TRV (see Figure 4):

- a) u_c : TRV peak voltage in kilovolts;
- b) t_3 : time in microseconds to voltage u_c .

This gives reference line OAC in Figure 4.

A delay line starting on the time axis at the rated time delay t_d running parallel to the first section of the reference line and terminating at a specified voltage u' (time coordinate t').

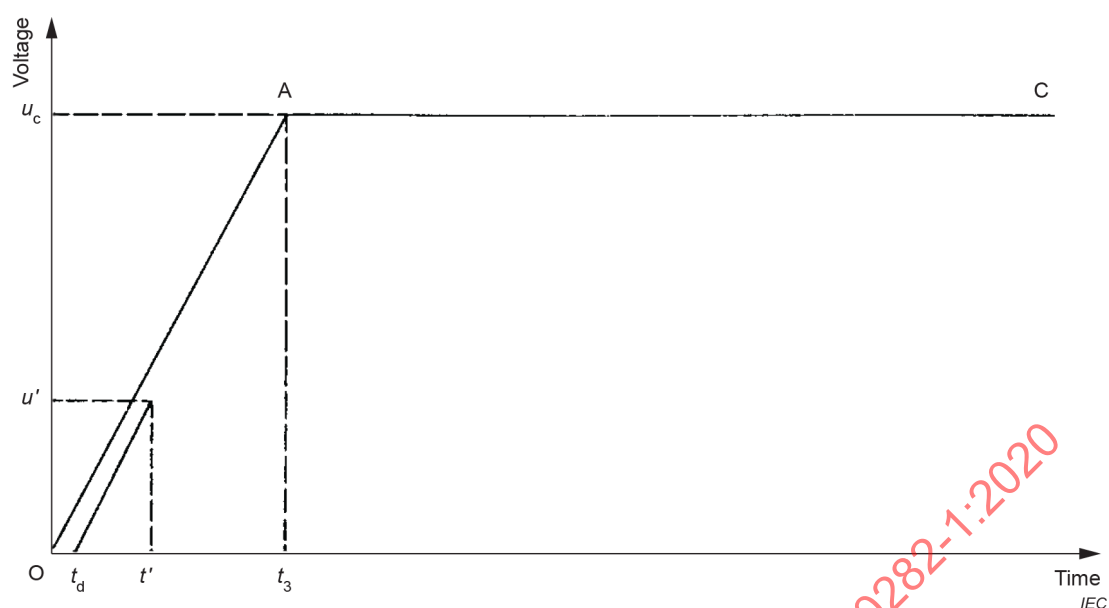


Figure 4 – Representation of a specified TRV by a two-parameter reference line and a delay line

7.6.1.5.2 General TRV requirements

The prospective transient recovery voltage wave of the test circuit shall comply with the following two requirements:

Requirement a): its envelope shall at no time be below the specified reference line.

It is stressed that the extent by which the envelope may exceed the specified reference line requires the consent of the manufacturer (see the fourth paragraph of 7.1).

Requirement b): its initial portion shall not cross the specified delay line (if any).

These requirements are illustrated in Figure 5.

Standard values of reference and delay lines specified for the various test duties are as follows.

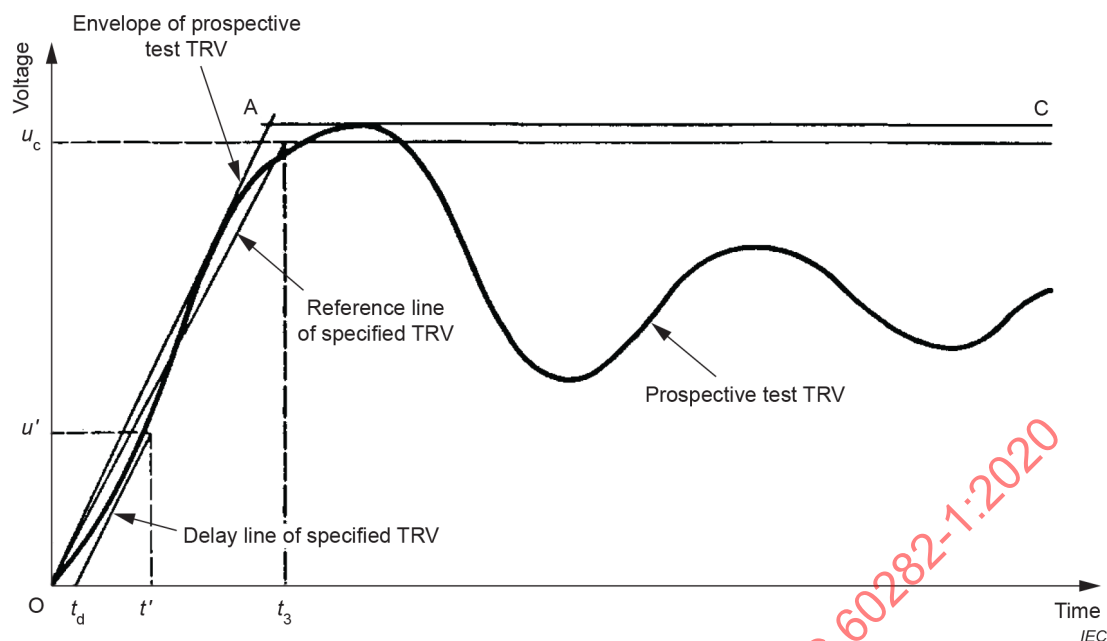


Figure 5 – Example of a two-parameter reference line for a TRV complying with the conditions of the type test

7.6.1.5.3 TRV for Test Duty 1

In principle, the tests are made with the standardised values of TRV specified in 7.6.1.5.1 and Table 12 or Table 13. However, as stated in Annex B, current-limiting fuses are not sensitive to TRV characteristics, except when the highest arc voltage is reached immediately after initiation of the arc. Consequently, for convenience of testing, the tests may be made as follows.

A first test will be made with any convenient prospective TRV and with initiation of arcing from 65 to 90 electrical degrees after voltage zero. If, during this test, the highest peak of arc voltage is not reached within a time equal to $2 t_3$ after initiation of arcing, this test is valid and the Test Duty 1 will be completed in the same circuit. Otherwise, the circuit shall be changed to provide a TRV with an envelope being at no time below the reference line specified in Table 12 or Table 13 and an initial portion not crossing the specified delay line. All the tests of Test Duty 1 shall be made in this new circuit.

Table 12 – Standard values of rated TRV for I_1 – Series I rated voltages

Rated voltage	Basic parameters		Derived values			
	Peak voltage ^a	Time coordinate	Time delay ^b	Voltage coordinate ^c	Time coordinate ^d	Rate of rise
U_r	u_c	t_3	t_d	u'	t'	u_c/t_3
kV	kV	μs	μs	kV	μs	kV/μs
3,6	6,2	40	6	2,06	19,4	0,154
7,2	12,4	52	7,8	4,1	25	0,238
12	20,6	60	9	6,9	29	0,345
17,5	30	72	10,8	10	35	0,415
24	41	88	13,2	13,8	42,5	0,47
36	62	108	16,2	20,6	52	0,57
40,5	69	115	17,2	23	55,5	0,60
52	89	132	19,8	29,5	63,8	0,68
72,5	124	168	8,4	41,5	64,4	0,74

^a $u_c = 1,5 \times 1,4 \sqrt{\frac{2}{3}} U_r$ (using a first-pole-to-clear value of 1,5 and an amplitude factor of 1,4)
^b $t_d = 0,15 t_3$ for $U_r \leq 52$ kV and $t_d = 0,05 t_3$ for $U_r > 52$ kV
^c $u' = 1/3 u_c$
^d $t' = (0,15 + 1/3) t_3$ for $U_r \leq 52$ kV and $t' = (0,05 + 1/3) t_3$ for $U_r > 52$ kV

Table 13 – Standard values of rated TRV for I_1 – Series II rated voltages

Rated voltage	Basic parameters		Derived values			
	Peak voltage ^a	Time coordinate	Time delay ^b	Voltage coordinate ^c	Time coordinate ^d	Rate of rise
U_r	u_c	t_3	t_d	u'	t'	u_c/t_3
kV	kV	μs	μs	kV	μs	kV/μs
2,8	5,5	39	5,9	1,8	18,9	0,141
5,5	10,9	46	6,9	3,6	22,2	0,237
8,3	16,4	54	8,1	5,5	26,1	0,304
15,5	30,7	67	10,0	10,2	32,2	0,458
17,2	34,1	70	10,5	11,4	33,8	0,487
23,0	45,5	84	12,6	15,2	40,6	0,542
27,0	53,5	93	14,0	17,8	45,0	0,575
38,0	75,2	111	16,6	25,1	53,6	0,677
48,3	95,6	125	18,8	31,9	60,4	0,765
72,5	143,5	165	8,3	47,8	63,3	0,870

^a $u_c = 1,0 \times 1,4 \times \sqrt{2} U_r$ (using line-to-line voltage and an amplitude factor of 1,4 – see Table 11 footnote b)
^b $t_d = 0,15 t_3$ for $U_r \leq 48,3$ kV and $t_d = 0,05 t_3$ for $U_r > 48,3$ kV
^c $u' = 1/3 u_c$
^d $t' = (0,15 + 1/3) t_3$ for $U_r \leq 48,3$ kV and $t' = (0,05 + 1/3) t_3$ for $U_r > 48,3$ kV

The values given in the tables are prospective values and take into account depression of recovery voltage.

In the case of single-phase systems using fuses tested to Series I voltages, or where fuses are for use in an installation having more severe conditions, the values shall be subject to agreement between manufacturer and user.

7.6.1.5.4 TRV for Test Duty 2

Tests shall be made with the values of prospective TRV specified in Table 14 or Table 15 (see Annex B).

The prospective TRV wave of the test circuit shall comply with the following requirements:

- its highest peak shall be not smaller than the parameter u_c specified;
- the rising segment of its envelope shall be between the two lines specified by the tolerance of t_3 .

NOTE A delay line is not specified, because the initial portion of the TRV wave is of no importance for the behaviour of the fuse (see Annex B).

Especially for fuses where the test current I_2 is small, it may be difficult to achieve the values of time coordinate specified. In such cases, and subject to agreement by the manufacturer, greater values of t_3 are acceptable and should be stated in the test report.

Table 14 – TRV for Test Duty 2 – Series I rated voltages

Rated voltage	Basic parameters		Rate of rise
	Peak voltage	Time coordinate	
U_r	u_c^a	t_3	u_c/t_3
kV	kV	μs	kV/ μs
3,6	6,6	120 to 160	0,055 to 0,041
7,2	13,2	156 to 208	0,084 to 0,063
12	22	180 to 240	0,122 to 0,091
17,5	32	216 to 288	0,148 to 0,111
24	44	264 to 352	0,167 to 0,125
36	66	324 to 432	0,203 to 0,152
40,5	74	345 to 460	0,214 to 0,160
52	96	396 to 528	0,242 to 0,181
72,5	133	504 to 672	0,265 to 0,199
^a $u_c = 1,5 \times 1,5 \times \sqrt{\frac{2}{3}} U_r$ (first-pole-to-clear factor of 1,5 and amplitude factor of 1,5)			

Table 15 – TRV for Test Duty 2 – Series II rated voltages

Rated voltage	Basic parameters		Rate of rise
	Peak voltage	Time coordinate	
U_r	u_c^a	t_3	u_c/t_3
kV	kV	μs	kV/ μs
2,8	5,9	111 to 148	0,053 to 0,040
5,5	11,7	138 to 184	0,085 to 0,064
8,3	17,6	162 to 216	0,109 to 0,081
15,5	32,9	201 to 268	0,164 to 0,123
17,2	36,5	210 to 280	0,174 to 0,130
23	48,8	252 to 336	0,194 to 0,145
27	57,3	279 to 372	0,205 to 0,154
38	80,6	333 to 444	0,242 to 0,182
48,3	102,5	381 to 508	0,269 to 0,202
72,5	153,8	504 to 672	0,305 to 0,229

^a $u_c = 1,0 \times 1,5 \times \sqrt{2} U_r$ (using a line-to-line voltage and an amplitude factor of 1,5 – see Table 11 footnote b)

7.6.1.5.5 TRV for Test Duty 3

TRV characteristics are not specified; the reactance of the circuit (which may be the reactance of the transformer or the reactance of the transformer and reactor(s)) shall be shunted by a resistance R_p with a value equal to approximately 40 times the value of the reactance. However, if this value does not result in at least critical damping, the resistance shall be lower to achieve critical damping (see Annex B).

Critical damping is obtained when

$$R = \frac{1}{2} \frac{f_0}{f_N} X$$

where

f_0 is the natural frequency of the circuit without additional damping;

f_N is the power frequency;

X is the reactance of the circuit at power frequency.

7.6.1.6 Arrangement of the equipment**7.6.1.6.1 Fuses intended for use in air**

For Test Duties 1 and 2, the conductors shall be arranged as shown in Figure 6, in order to reproduce the electromagnetic forces that may occur in service. To prevent any movement of the conductors from causing excessive mechanical stresses on the fuse-base, the conductors shall be secured at a distance equal to the insulator height if this height exceeds 0,50 m (20 in), or at 0,50 m (20 in) if the insulator height does not exceed 0,50 m (20 in). The bends shall be placed immediately after the bracing points. No arrangements are specified for Test Duty 3. The fuse shall be tested in the vertical orientation unless it is known that the horizontal arrangement is more severe, in which case the fuse shall be tested horizontally. If a fuse-link is not usually mounted in a fuse base, the mounting and orientation shall be as specified by the manufacturer.

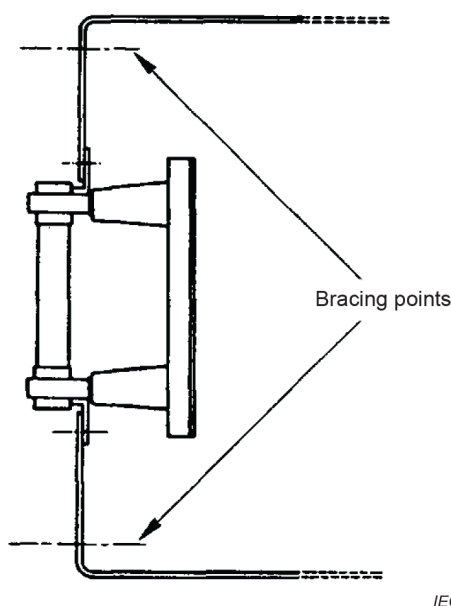


Figure 6 – Breaking tests – Arrangement of the equipment

7.6.1.6.2 Fuses intended for use in liquid-filled enclosures

Test Duties 1, 2, 3, and I_t may be performed in air or in a liquid-filled enclosure. Since testing in air is held to be more onerous, this may only be done with the agreement of the fuse manufacturer, and in the case of failure, the relevant test duty may be repeated with the fuse in a liquid-filled enclosure, using an arrangement of test conductors suitable for that enclosure. The liquid-filled enclosure may be the same as used for the temperature rise tests, suitably reinforced, where necessary, with the fuse-link moved to equalise dielectric clearance to the tank and utilising suitable fuse contacts.

7.6.2 Test procedure

7.6.2.1 Calibration of the test circuit

The fuse or the fuse-link under test shall be replaced by a link of negligible impedance as shown in Figure 7 and Figure 8.

The circuit shall be adjusted to give the specified prospective current. This shall be verified by an oscillographic or similar record.

For direct tests of Test Duty 3, the calibration of the test circuit may not be necessary, but when made, current may be measured by an ammeter as an alternative to an oscillographic record.

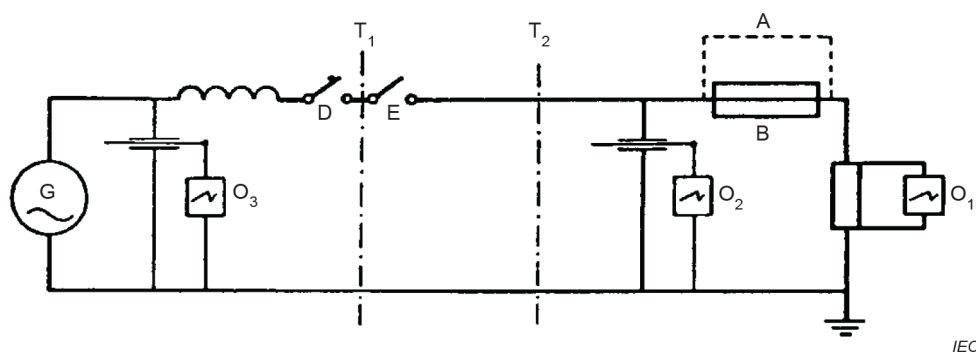
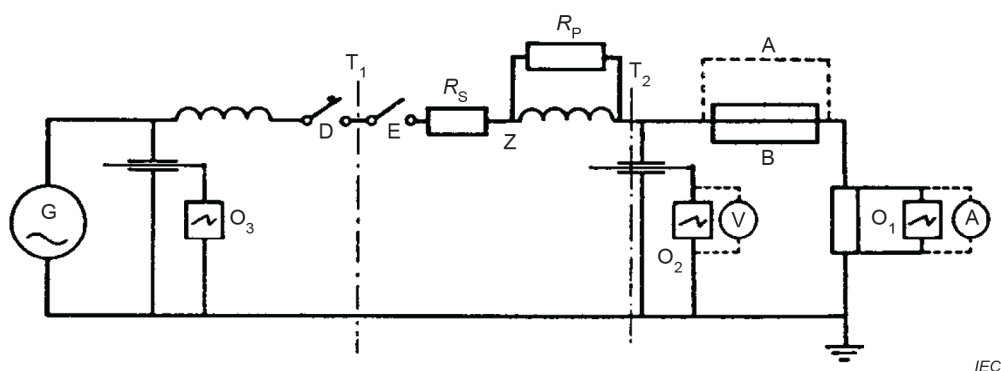


Figure 7 – Breaking tests – Typical circuit diagram for Test Duties 1 and 2



Key for Figures 7 and 8

A	Removable link used for the calibration test	O ₃	Reference voltage measurement
B	Fuse under test	T ₁ and T ₂	Possible locations of the transformer
D	Circuit-breaker protecting the source	Z	Adjustable impedance
E	Making switch	R _p	Adjustable parallel resistance
O ₁	Current measurement	R _s	Adjustable series resistance
O ₂	Recovery voltage measurement		

Figure 8 – Breaking tests – Typical circuit diagram for Test Duty 3

7.6.2.2 Test method

The link A is removed and is replaced by the fuse or the fuse-link B under test.

The making switch E is closed at such an instant as to provide the conditions specified in Table 11.

For Test Duties 1, 2, 3 and I_t , switching voltages shall be measured. For Test Duties 1 and 2, cut-off currents shall be determined.

In Test Duty 3, an ammeter shall not be used except for measuring the current during long pre-arcing time tests. An oscillograph or similar measuring system shall be used to measure current immediately before interruption occurs.

After the fuse has operated, recovery voltage shall be maintained across the fuse for the period specified in Table 11. The first few cycles shall be recorded by an oscillograph or similar system and the remainder may be observed on a voltmeter.

During this period, the power frequency may fall below the specified minimum value.

7.6.2.3 Interpretation of oscillograms

For Test Duties 1 and 2, the prospective breaking current shall be the RMS value of the AC component of the current, measured one half-cycle after the initiation of short circuit in the calibration test (see Figure 9 and Figure 10).

For Test Duty 3 and I_t tests, the breaking current shall be the RMS symmetrical current measured at the instant of the initiation of the arc in the breaking test (see Figure 11).

The value of the power-frequency recovery voltage is measured between the peak of the second non-influenced half-wave and the straight line drawn between the peaks of the preceding and following half-waves (see Figure 9, Figure 10, and Figure 11).

7.6.2.4 Parameters to be used for tests

The parameters to be used when making the tests are given in Table 11.

If a test is made under more severe conditions than specified and if this test is successful, this test shall be valid.

7.6.3 Alternative test methods for Test Duty 3

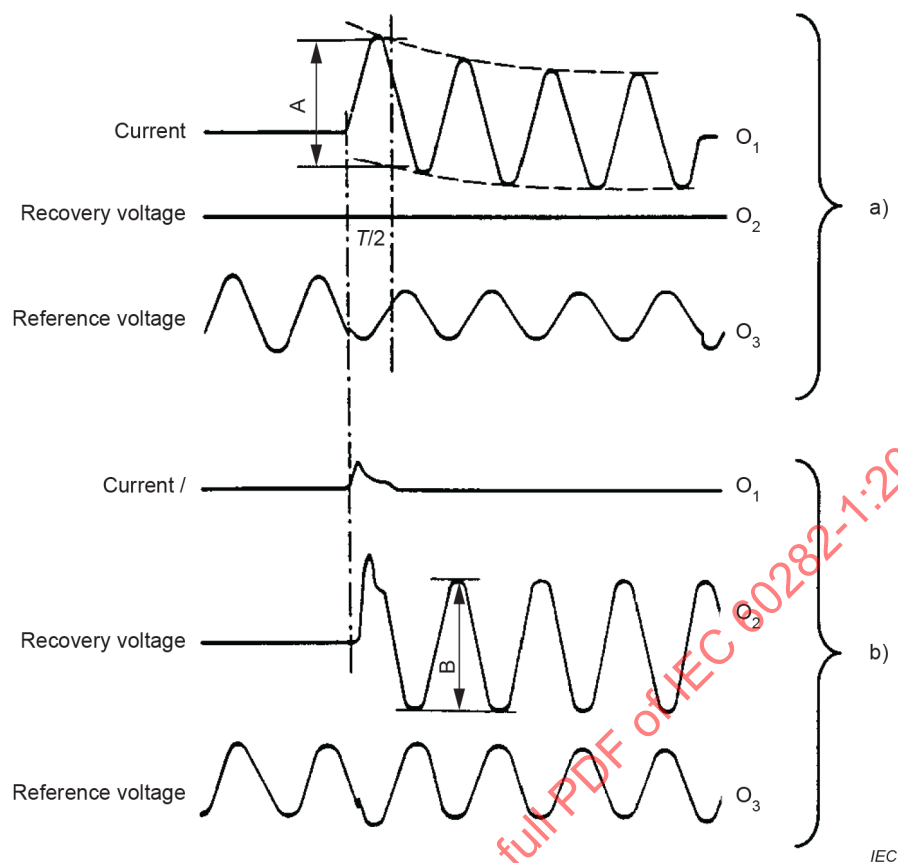
7.6.3.1 General

Test Duty 3 may be performed using a single high-voltage source throughout the test (as in Test Duty 1 or Test Duty 2).

However, where pre-arcing times are long and/or where there are limitations in test-station capability, the Test Duty 3 tests may be conducted as a two-part test. For the first part of the test duration, current is supplied from a low-voltage source. For the second part, which includes the interruption of the current by the fuse, current is supplied from a high-voltage source.

It is also permissible to perform a two-part test using a single high-voltage source where the power factor for part of the pre-arcing period is of a lower value. In this case, the changeover to the correct power factor shall occur before arcing commences.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60282-1:2020

**Key:**

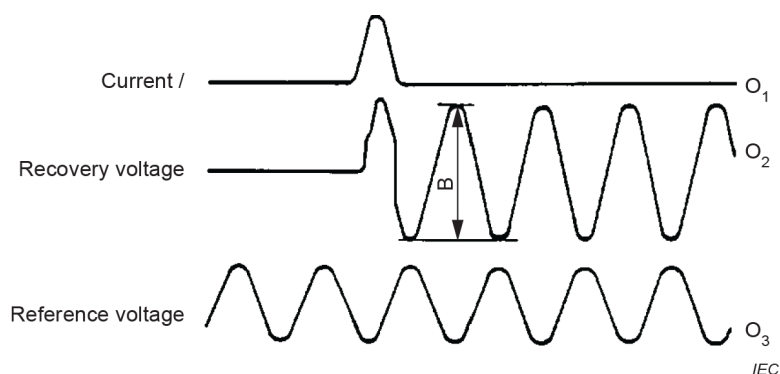
- O₁ Current measurement
- O₂ Recovery voltage measurement
- O₃ Reference voltage measurement
- a) Calibration test
- b) Breaking test
- T/2 One half-cycle

RMS value of the AC component of prospective breaking current $I = \frac{A}{2\sqrt{2}}$

Recovery voltage $V = \frac{B}{2\sqrt{2}}$

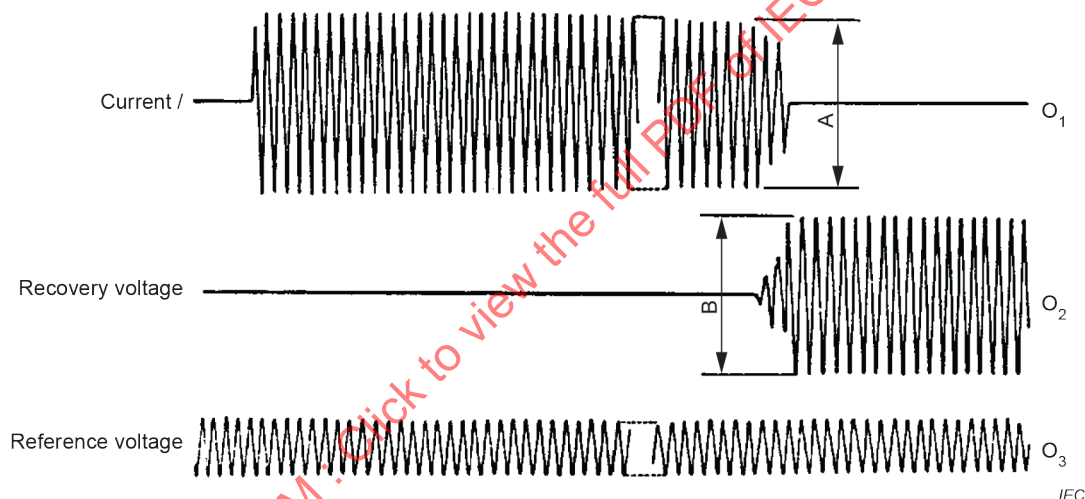
NOTE Figure 9, Figure 10 and Figure 11 are for illustration; the currents are not drawn to the same scale.

Figure 9 – Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 1



- O₁ Current measurement
O₂ Recovery voltage measurement
O₃ Reference voltage measurement

Figure 10 – Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 2 (calibration traces as in a) of Figure 9)



Key

- O₁ Current measurement
O₂ Recovery voltage measurement
O₃ Reference voltage measurement

Figure 11 – Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 3

7.6.3.2 Circuit requirements

Circuit requirements are as follows.

- A low-voltage power source able to cause the desired current to flow through the fuse under test and means for holding the current constant during the test.
- A high-voltage source as described in 7.6.1.4.
The value of the high-voltage current is the current I_3 as defined in 7.6.1.2.
- Provision for switching either manually or automatically from the low-voltage source to the high-voltage source at the desired instant during the tests.

The time interval during which the current is interrupted shall not exceed 0,2 s. There shall be no significant asymmetry in the current at the instant of changeover to the high-voltage source.

In general, the changeover should take place while at least one fuse element is still carrying current. For a multi-elemented fuse this would be in the period where elements are melting successively, as shown by step increases in the voltage developed across the fuse.

- d) With the consent of the manufacturer, it is permissible for the changeover to be delayed until all the fuse elements (but not the striker element, where fitted) have melted. All other parameters given in c) still apply. A thermally operated striker may have deployed during the pre-arcing period, but providing that the striker element is intact, this is acceptable.

This procedure is of value in cases where it is difficult to detect the onset of element melting, or where the value of pre-arcing current has to be significantly higher than the chosen value of Test Duty 3 current (see 7.6.3.3).

However, since this method is held to be more onerous for the fuse than method c), in case of failure, it is permissible to repeat the Test Duty 3 tests using method c), since the latter is closer to actual service conditions.

7.6.3.3 Value of pre-arcing test current for Test Duty 3

Values are as follows.

- a) For tests on Back-Up fuses, where the pre-arcing time is less than 1 h, the low-voltage source should be set to the value I_3 and maintained at this value throughout the test.
- b) For General Purpose fuses, where a minimum time to melt of 1 h is required, the current of the low-voltage source is set to I_3 , but it may be increased after 1 h by up to 15 % above I_3 to induce melting.
- c) For those Full-Range fuses where the requirement is for an I_3 value equal to fuse rated current, the low-voltage source may be set to a higher value than I_3 throughout the low-voltage part of the test in order to avoid an unnecessarily long testing time, provided that the resulting pre-arcing time is not less than 1 h. However, the low-voltage current shall not exceed I_3 by more than 42 % during this pre-arcing period.

After the elapse of 1 h, the low-voltage current may be further increased by up to 15 % in order to induce melting.

If this higher value still results in an inconveniently long testing time, it is permissible to install the fuse-link in an enclosure with restricted cooling – again provided a melting time of at least 1 h is obtained.

In cases where the use of such an enclosure is insufficient to cause melting to occur in a reasonable time, then the test method given in Annex E may be used.

7.6.4 Breaking tests for fuse-links of a homogeneous series

7.6.4.1 Characteristics of fuse-links of a homogeneous series

Fuse-links are considered as forming a homogeneous series when their characteristics comply with the following.

- a) Rated voltage, maximum breaking current and frequency shall be the same.
- b) All materials shall be the same, including filling material and its grain distribution.
- c) All dimensions of the fuse-link, except the cross-section and the number of fuse element(s) as detailed below from items d) to h), shall be the same.
- d) In any fuse-link, all the main fuse elements shall be identical.
- e) The law governing the variation of the cross-section of individual fuse elements along their length shall be the same.

- f) All variations in thickness, width and number shall be monotonous¹ with respect to rated current. Thus, balancing an increase in cross-section by reducing the number of fuse elements and vice versa is not allowed.
- g) The variation in distance, if any, between individual fuse elements and the variation in distance, if any, between fuse element(s) and fuse barrel shall be monotonous with respect to the rated current.
- h) A special fuse element used for an indicator or striker is exempt from items e) and f) above, but this element shall be the same for all the fuse-links.
- i) When a fuse element is made up of series components (e.g. fuses requiring I_t testing) both parts of the element shall conform to the monotonous requirements of f) and g), but between ratings, it is permissible for one or more parts not to change. If one part of the element plays no part in interruption at a particular test current, it need not be considered when assessing homogeneous requirements for that current.

7.6.4.2 Test requirements

In a homogeneous series of fuse-links, breaking tests need only be made in accordance with Table 16.

Table 16 – Breaking test requirements for fuse-links of a homogeneous series

Test duties	Fuse-links to be tested (crosses show the tests to be performed)		
	A	B	C
1	X		X
2 ^a	X ^c		X
3 ^b	X ^d	X ^d	X
^a The test currents I_2 for the fuse-links A and C will have been chosen according to the current rating of fuse-links A and C respectively. ^b In the case of a homogeneous series of fuse-links that use multiple main fuse elements, the fuse-link of lowest current rating should contain at least two individual main fuse elements in addition to the elements, if any, used for operating the striker. A fuse using a single fuse element forms a separate homogeneous series to those using multiple elements. ^c This test is only required where the cross-section of individual elements is less than that for fuse-link C. ^d This test is only required when the ratio I_3/s of fuse-links A and B is less than that of fuse-link C. In this case, the fuse-link having the lowest ratio I_3/s is selected for Test Duty 3.			

Symbols in Table 16 are used with the following meanings:

- A: fuse-link of lowest current rating;
- B: any fuse-link of a current rating between A and C;
- C: fuse-link of highest current rating;
- s: cross-section of each individual fuse element.

7.6.4.3 Interpretation of breaking tests

If the results of tests made according to Table 16 meet the requirements of 6.1.3, any current rating of fuse-links within the homogeneous series shall be deemed to comply with the breaking requirements of this specification.

¹ Monotonous function: a function continually varying in the same direction for a given direction of the variable.

If a fuse-link does not perform satisfactorily according to 6.1.3 on one or more test series, that fuse-link shall be rejected from the homogeneous series, but such failure does not necessarily entail rejection of any other current rating.

The manufacturer shall make available values of minimum breaking current for Back-Up fuse-links of all available current ratings in the homogeneous series. These values shall be based upon the Test Duty 3 breaking tests on fuse-link C of the series. Values of minimum breaking current for other current ratings in the same homogeneous series may be determined by calculation. The current density per main fuse element (ratio I_3/s) shall be equal to or greater than for fuse-link C.

7.6.5 Acceptance of a homogeneous series of Back-Up fuse-links by interpolation

If two homogeneous series X and Z of different voltage ratings U_X and U_Z have been tested successfully, a third homogeneous series Y of an intermediate voltage rating U_Y need not, in principle, be tested provided that the following conditions apply.

- a) The rated voltage U_Z is not greater than $2 U_X$.
- b) The current ratings of Y are not outside the range of current ratings common to series X and Z already tested.
- c) The rated maximum breaking currents at rated voltages U_X and U_Z are the same, or, if they are different, only the lower value is assumed to be applicable to U_Y .
- d) The rated minimum breaking currents of fuse-links of the same current ratings at rated voltages U_X and U_Z are the same or, if they are different, only the higher value is assumed to be applicable to U_Y .
- e) The rated frequencies are the same.
- f) All materials are the same.
- g) All dimensions except the length of the fuse-links and fuse elements are the same.
- h) For each current rating, the number of individual fuse elements and their cross-section are the same; also the law governing the variation of the cross-section expressed as the number of variations per unit length shall be kept constant when interpolating the length of the fuse elements of intermediate voltage ratings.
- i) The length of the fuse elements is linearly interpolated with respect to the voltage ratings already tested.

7.6.6 Acceptance of a homogeneous series of fuse-links of different lengths

In order to cater for the fixing dimensions of different types of fuse switch or fuse mount, it is sometimes necessary to have a design of fuse-links available in two or more different barrel lengths. In principle, if the shortest version has been fully tested, then it is not deemed necessary to test the longer barrel versions given, provided the following requirements are complied with.

Declared breaking characteristics and ratings based upon tests carried out in accordance with 7.6.2 and 7.6.4 on a given homogeneous series are valid for other homogeneous series of greater barrel length, provided the following criteria are complied with.

- a) The barrel length of each untested homogeneous series of fuses does not exceed 1,6 times the barrel length of the homogeneous series tested for the same rated voltage. The winding pitch of the main fuse elements may be lengthened, but their length shall be the same as the tested fuse in the series.
- b) The untested range complies with all items in 7.6.4.1 except for barrel length.
- c) The maximum rated current of the untested range is not greater than the maximum rated current of the tested range and the smallest rated current of the untested range is not less than that of the tested range.

7.7 Tests for time-current characteristics

7.7.1 Test practices

7.7.1.1 General

Tests are performed with current between 48 Hz and 62 Hz and shall be with practices as specified in 7.3 and as follows.

7.7.1.2 Ambient air temperature

The time-current characteristics shall be verified at any ambient air temperature between 15 °C and 30 °C.

At the beginning of each test, the fuse shall be approximately at ambient air temperature.

7.7.1.3 Arrangement of the equipment

The tests shall be made with the same arrangement of the equipment as for the temperature rise tests if they are made separately (see 7.5.1.2), or for the breaking tests (see 7.6.1.5).

7.7.2 Test procedures

7.7.2.1 Pre-arcing time-current tests

Pre-arcing time-current tests may be made at any convenient voltage with the test circuit so arranged that the current through the fuse is essentially symmetrical, and is held to an essentially constant value. If a time-current characteristic for times less than 0,010 s is to be produced, virtual time may be calculated using non-symmetrical currents.

Time-current data obtained from breaking tests may be used.

7.7.2.2 Time range

Tests shall be made in the following time ranges:

- Back-Up fuses: from 0,01 s to at least 600 s;
- General-Purpose and Full-Range fuses: from 0,01 s to at least 1 h. For Full-Range fuses, the time range should preferably be extended beyond 1 h.

7.7.2.3 Measurement of current

The current through the fuse during time-current tests shall be measured by ammeter, oscillograph or other suitable instrument.

7.7.2.4 Determination of time

When times are recorded by oscillograph, the pre-arcing times shall be the virtual or actual times, with indication of the selected method.

7.8 Electromagnetic compatibility (EMC)

Fuses within the scope of this document are not sensitive to electromagnetic disturbances and therefore no immunity tests are necessary. Any electromagnetic disturbance that may be generated by a fuse is limited to the instant of its operation. Provided the switching voltage values during type tests do not exceed those given in Table 7 and Table 8 of this document, no other tests for electromagnetic compatibility are required.

8 Type tests for particular fuse-link types and applications

8.1 General

Certain fuse types, or fuses intended for use in certain applications, require other tests to be performed in addition to those specified in Clause 7. As with the tests in Clause 7, these type tests are made to check whether a type or particular design of fuse corresponds to the characteristics specified, and functions satisfactorily under normal behaviour conditions or under the special application conditions. Type tests are made on samples to check the specified characteristics of all fuses of the same type. Some tests are required for all fuses of a particular type and/or application; these are covered in 8.3. Other tests for fuses that have a particular application, while not normally considered necessary, may be requested specifically by the user; these tests are covered in 8.4.

The tests set out in Clause 8 shall be repeated only if the construction of the fuse is changed in a way that might modify its behaviour.

For convenience of testing, and with the previous consent of the manufacturer, the values prescribed for the tests, particularly the tolerances, can be changed so as to make the test conditions more severe.

Unless otherwise specified, the tests shall be made according to the test practices specified in 7.1 and 7.3 and as follows.

8.2 List of type tests

- a) Tests required for a particular type of fuse or application:
- indicator tests, for fuses fitted with indicators (8.3.1);
 - striker tests, for fuses fitted with strikers (8.3.2);
 - pre-arcing temperature rise test, for Back-Up fuses for use in switch-fuse combinations (8.3.3.2);
 - arcing duration withstand test, for Back-Up fuses for use in switch-fuse combinations (8.3.3.3);
 - liquid-tightness test, for fuse-links to be used submerged in insulating liquid (8.3.4);
 - type tests for motor circuit fuses are found in IEC 60644, and for capacitor fuses in IEC 60549;
- b) Tests performed only at the request of a user:
- thermal shock test (for fuses intended to be used outdoors) (8.4.1);
 - waterproof test (ingress of moisture) for fuses intended to be used outdoors (8.4.2).

The results of all tests shall be recorded in test reports containing the data necessary to assess compliance with this document.

8.3 Tests required for a particular type of fuse or application

8.3.1 Indicator tests (for fuses fitted with indicators)

No specific tests are required for indicating fuses and there are no specific requirements for behaviour after interruption, other than that the indicator shall fully operate. If a fuse includes a device, the only function of which is to provide indication of a fuse operation, and that indicator does not operate, then although the fuse has failed to pass the test as a fuse with an indicator, the test may be used as part of a series to demonstrate that an otherwise identical non-indicating fuse has met the requirements of this document.

8.3.2 Striker tests (for fuses fitted with strikers)

8.3.2.1 General

Fuse-links that include a striker shall be tested in accordance with 8.3.2. These tests are intended to verify that the striker is able to deliver the energy specified in Table 9 even under service conditions that involve low values of current or voltage. The tests in 8.3.2.3 and 8.3.2.4 are also intended to demonstrate that the action of the striker is sufficiently rapid to ensure correct operation of striker-tripped fuse combination units.

The energy of a striker actuated by a spring may be verified either during the operation tests by means of a pendulum or may be measured after the tests from the force-travel characteristics (see 8.3.2.4.2). The energy of a striker actuated by an explosive charge shall be measured during the course of the operation tests by means of a pendulum.

The withstand force of strikers of medium and heavy types (see Table 9) shall be tested after the operation tests.

Thermally operated strikers require some different test procedures and an additional test, compared to strikers that are only electrically operated (see 8.3.2.4).

8.3.2.2 Strikers to be tested

The fuse-links used for the striker tests shall be of the highest current rating and/or power dissipation of the range of fuses using a given type of striker system.

Where a striker system (comprising a striker and a series resistance wire) is common² to a given range (or ranges) of fuse-links, it is necessary to perform the tests on only one fuse-link of any voltage rating in order to prove the striker performance for the whole range (or ranges). The results apply for other voltage ratings of fuse-links, where the same striker system is used, provided the lengths of the resistance wire are approximately proportional to the rated voltages of the fuse-links.

8.3.2.3 Striker operation tests

8.3.2.3.1 Test sample preparation

The fuse-links used for the striker tests shall first be placed in a low-voltage circuit and a current applied so as to cause the main fuse elements to melt. The voltage shall be sufficiently low so as to leave the striker circuits of the fuse-links intact. The value of the test current shall be such as to give a pre-arcing time not less than 20 min. Without undue delay, tests according to 8.3.2.3.2 shall then be made on these fuse-links.

8.3.2.3.2 Electrical test procedure

Tests a) and b) shall be made on fuse-links prepared with melted main fuse elements, and in each case the striker shall operate:

Test a): Test current: $\leq 10 \text{ A}$

Test voltage: not specified

Test b): Test voltage: $\leq 0,075 U_r$

Test current: not specified

² The striker devices, the material and the cross-section of the resistance wire are identical in all cases, only the length of the resistance wire may vary.

where U_r is the rated voltage of the fuse-links.

The power factor of the test circuit may have any convenient value.

Three samples shall be tested in accordance with test a) and three in accordance with test b).

Where it is practicable to combine tests a) and b), a total of three samples only need be tested.

8.3.2.4 Thermally operated striker operation tests

8.3.2.4.1 Test sample preparation for electrical test

For a fuse-link with a thermally operated striker, tests made in accordance with 8.3.2.3.1 would normally cause the striker to operate with the main fuse elements intact. A different preparation procedure is therefore necessary in which a shorter pre-arcing time than 20 min may be necessary. Starting with a current which corresponds to a pre-arcing time of 20 min on the fuse's nominal pre-arcing time-current characteristic, a first attempt is made. If the striker deploys before the main elements melt, the current is increased for the next fuse-link sample, to reduce the pre-arcing time to a time at which the main elements melt without the indicator being deployed. This may take more than one attempt to achieve. Additional samples are prepared by testing at the same, or higher, current to provide the number of prepared samples necessary. Note that one or more of these tests may fulfil the requirements of 8.3.2.4.3, if the appropriate measurements of the striker characteristics are made.

8.3.2.4.2 Electrical test procedure

Samples prepared in accordance with 8.3.2.4.1 are tested in accordance with 8.3.2.3.2.

8.3.2.4.3 Thermal test procedure

A current corresponding to a pre-arcing time of 20 min on the fuse's nominal pre-arcing time current characteristic is applied to a fuse. For a valid test, the striker shall operate thermally, with the main fuse elements intact. When the striker operates, the test shall be stopped. If the main elements melt before the striker operates, the current may be reduced and the test repeated. After a valid test, striker travel, energy output during the actual travel, and withstand force shall be within the limits specified in Table 9. Three fuse-link samples are tested in this way.

8.3.2.5 Test performance

8.3.2.5.1 General

For tests made in accordance with 8.3.2.3.2 a) and b), the striker travel, energy output during the actual travel, and withstand force shall be within the limits specified in Table 9.

For test b) the duration of travel shall be measured and shall not exceed the value specified in Table 9.

8.3.2.5.2 Test of energy

When the energy is measured from the force-travel characteristics, this measurement shall be made after the operation tests as follows: forces of the spring F_A and F_B at the beginning and at the end, respectively, of the further travel AB indicated in Figure 3 shall be measured for one sample and the energy calculated from the following formula:

$$\text{Energy} = \frac{(F_A + F_B) \times AB}{2\,000}$$

where F_A and F_B are expressed in newtons, energy in Joules and AB in millimetres.

When the energy is measured by means of a pendulum, this measurement shall be made during the operation tests a) and b) as follows.

The use of a pendulum as described in ISO 148-2 is recommended, but with the smaller impact energy values and impact velocities as specified by ISO 179 (all parts). In particular, machines for testing strikers of medium and heavy type should be of the 4 J type; machines for testing strikers of light type should be of the 0,5 J type.

The hammer of the testing machine shall be provided with a plane steel surface of minimum Vickers hardness HV 235 and of sufficient size, perpendicular to the direction of the striker travel.

After its specified free travel, the striker shall hit the quiescently hanging hammer at its plane surface. The striker travel shall be directed to the centre of percussion of the machine and shall be normal to a plane defined by this centre of percussion and by the axis of oscillation of the pendulum.

8.3.2.5.3 Test of withstand force

For heavy and medium strikers, the minimum withstand force shall be tested on three samples after the operation tests 8.3.2.3.2 a) and b) have been made. This test consists of applying in the axis of the striker a static force equal to the rated minimum withstand force and checking that its residual travel is not smaller than the specified minimum actual travel OB (see Figure 3).

8.3.3 Tests for Back-Up fuses for use in switch-fuse combination of IEC 62271-105

8.3.3.1 General

Suitable tests are required in order that the fuse manufacturer may be able to supply the switchgear manufacturer or end-user with the necessary data.

8.3.3.2 Pre-arcing temperature rise test

The aim is to ascertain the highest temperature reached by any point of the fuse at any value of pre-arcing current.

For each homogeneous series, the fuse of the highest current rating shall be tested.

Fuses are set up as for the temperature-rise test in 7.5, except that it is only necessary for a measuring sensor to be placed in close contact with the fuse body at its longitudinal centre.

The fuses are subjected to a test with a current leading to a melting time of 20 min, which corresponds to the conditions where the highest body temperature is generally reached. In practice, one test giving a melting time in the range 15 min to 25 min is acceptable. The highest temperature measured is to be recorded. It will normally arise a short time after the actual instant of fuse melting.

In the case of fuses fitted with thermally operated strikers, the test current should be switched off at the instant of striker operation, and the highest temperature reached should be recorded.

During these series of tests, the fuses shall remain physically intact and undamaged as defined in 6.1.3.

8.3.3.3 Arcing duration withstand test

The aim is to demonstrate that a fuse can arc for a minimum time without experiencing external damage. This withstand time should be at least 0,1 s.

Where such a value is obtained during Test Duty 3 tests of the fuse according to 7.6 of this document, this Test Duty 3 value may be submitted as evidence of adequate performance.

Where the submitted Test Duty 3 arc duration is less than 0,1 s, then two additional tests shall be carried out according to 7.6 of this document for Test Duty 3, excluding TRV requirements, and with:

- a test current giving an arcing time of at least 0,1 s;
- a value of current greater than 70 % of the fuse minimum breaking current as defined in 3.1.20.

Where it can be shown that the thermal release of the fuse striker at currents below I_3 produces operation before arcing can occur, then the arcing duration test is not required.

8.3.4 Liquid-tightness tests

8.3.4.1 General

Two test sequences are specified to demonstrate the liquid-tightness capability of fuses for applications involving fuses that are intended for use submerged in an insulating liquid. The first (8.3.4.2) is intended for applications in which the primary source of heat in an enclosure is the fuse itself (for example switchgear). The second method (8.3.4.3) is intended for applications in which other equipment (for example transformer windings) produce the majority of the heat in the enclosure. The test requirements are based on historical testing procedures that have produced good service experience.

Mineral oil has traditionally been used for this testing, but it is recognised that other insulating liquids, for example silicon fluid, and natural and synthetic esters, can be used in these applications. Experience has shown that if the tests are conducted with traditional insulating oil, the results will generally be valid for all insulating liquids that are inert as regards to the fuse sealing system. The manufacturer shall specify what liquids are appropriate for the test and the test report shall state the liquid used for the testing.

If several current ratings differing only in their fuse elements are to be evaluated, testing the fuse-link that has the highest power dissipation is sufficient.

For tests that specify a current, a tolerance from –5 % to +0 % is to be used.

NOTE Attention is drawn to the implementation of appropriate precautions when operating liquids near their ignition temperature.

8.3.4.2 Liquid-tightness tests for switchgear type applications

Fuse-links designed to be used immersed in insulating liquid, and where the primary source of heat is the fuse itself, shall be tested as follows.

The fuse-link shall be immersed in insulating liquid under a pressure of 700 hPa $\pm$ 10 % (above atmospheric pressure).

A current equal to the maximum enclosure current (I_{fep}) of the fuse-link at 80 °C (see 5.3.7) shall be passed through it, and the temperature of the liquid shall be raised to between 75 °C and 85 °C. This shall be achieved in 2 h to 4 h. The temperature shall be maintained within this range for a further test period of 2 h with the fuse carrying current. Supplementary heating and/or cooling of the liquid and/or its container is normally required to attain and/or maintain the required liquid temperature.

If a fuse-link tested according to Annex E is assigned a maximum application temperature (MAT) higher than 85 °C, then the insulating liquid temperature shall, instead, be raised to a temperature at least equal to the fuse-link's assigned MAT. The current passed through the fuse-link shall be the maximum enclosure current (I_{fep}) for this temperature.

The current shall be switched off, any supplementary heating discontinued, and the liquid cooled, or allowed to cool, to a temperature between 15 °C and 30 °C, over any convenient period of time.

This cycle shall be carried out six times and the tank pressure then relieved. The fuse-link shall then be removed from the liquid, cleaned externally and opened for inspection of the arc-quenching medium, which shall show no sign of ingress of liquid. See Figure 12 for a representation of the test sequence.

8.3.4.3 Liquid-tightness tests for transformer type applications

8.3.4.3.1 General

If a fuse-link is intended for application in a liquid-filled distribution transformer tank, a test temperature of 115 °C or 140 °C shall be assigned (115 °C for European practice and 140 °C for North American practice). A fuse tested to 8.3.4.3 does not have to be tested to 8.3.4.2 to demonstrate liquid-tightness. For high temperature applications, where the heat source is not a transformer winding, the most appropriate temperature (115 °C or 140 °C) should be chosen.

During the cycling tests detailed in 8.3.4.2, the fuse-link rate of temperature change should be no more than 0,5 °C/min and steps should be taken to avoid thermal shock.

The manufacturer shall provide information concerning the assigned temperature (115 °C or 140 °C).

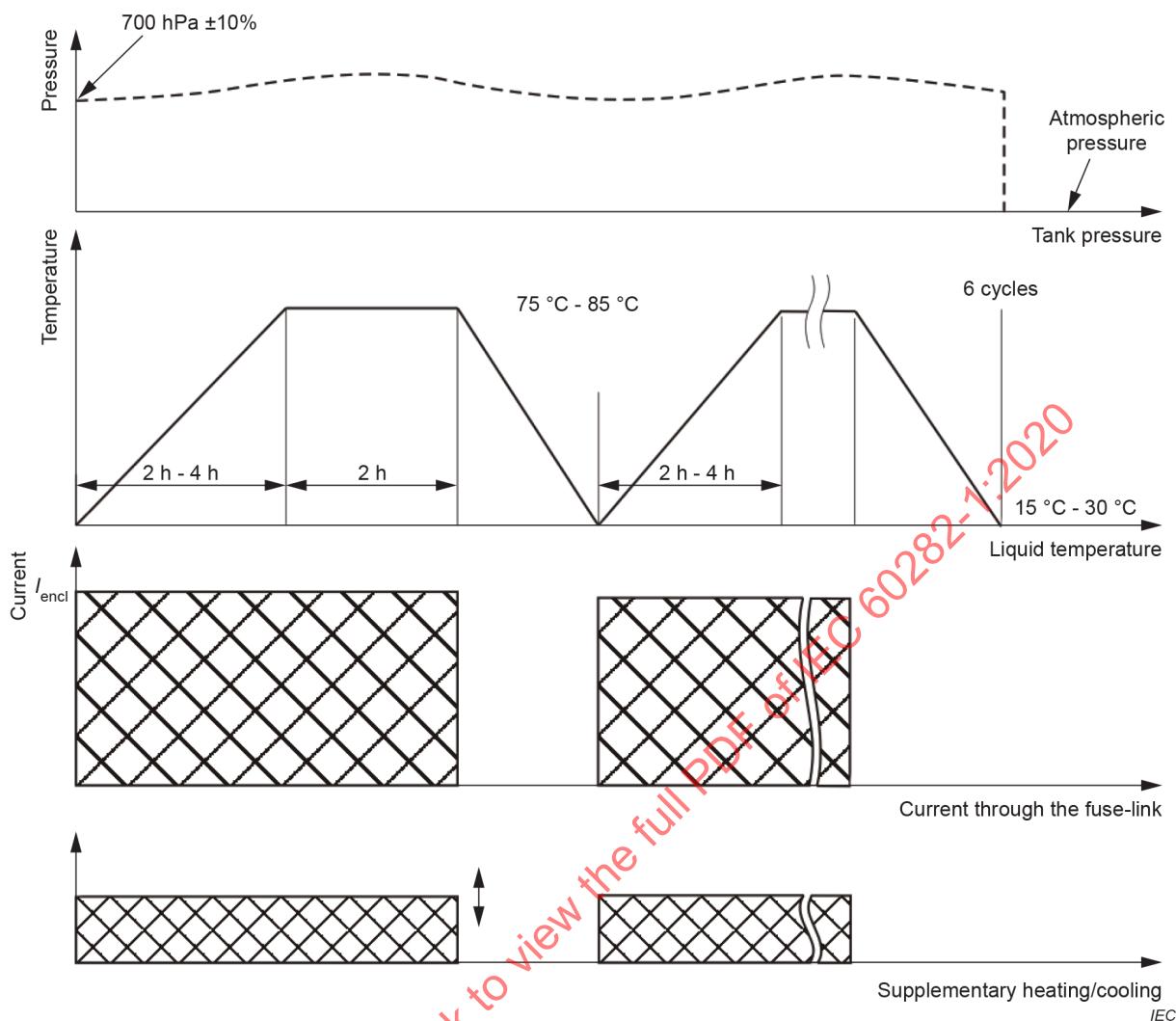


Figure 12 – Test sequence for switchgear type applications

8.3.4.3.2 Thermal cycle test in liquid

The fuse-link shall be immersed in insulating liquid and the liquid temperature reduced to -30 °C ($+0\text{ °C}$, -5 °C). One complete cycle consists of raising the liquid temperature to 115 °C ($+5\text{ °C}$, -0 °C) or 140 °C ($+5\text{ °C}$, -0 °C), and back to -30 °C . When the liquid reaches 115 °C or 140 °C , current equal to the maximum enclosure current of the fuse-link (I_{fep}) (see 5.3.7) for 115 °C or 140 °C shall be passed through the fuse for 2 h. During the 2 h period, the liquid temperature shall be maintained at 115 °C or 140 °C ($+5\text{ °C}$, -0 °C). The time from one temperature extreme to the other shall be any convenient value as limited by the rate of temperature change specified in 8.3.4.3.1. The cycle may be interrupted for any convenient period of time when the liquid temperature is at 20 °C ($+10\text{ °C}$, -10 °C). There shall be a holding period at -30 °C ($+0\text{ °C}$, -5 °C) of at least two hours. Current through the fuse may be used as supplementary heating during the heating part of the cycle.

See Figure 13 for a representation of the test sequence.

This cycle shall be carried out ten times with five fuse-links of the design to be evaluated. The fuse-links shall be removed from the insulating liquid, cleaned externally and opened for inspection of the arc-quenching medium, which shall show no sign of ingress of liquid. It should be noted that more than one fuse-link can be tested in the same liquid filled tank simultaneously, and on the last cycle, the fuse-link temperature need only be reduced to room temperature.

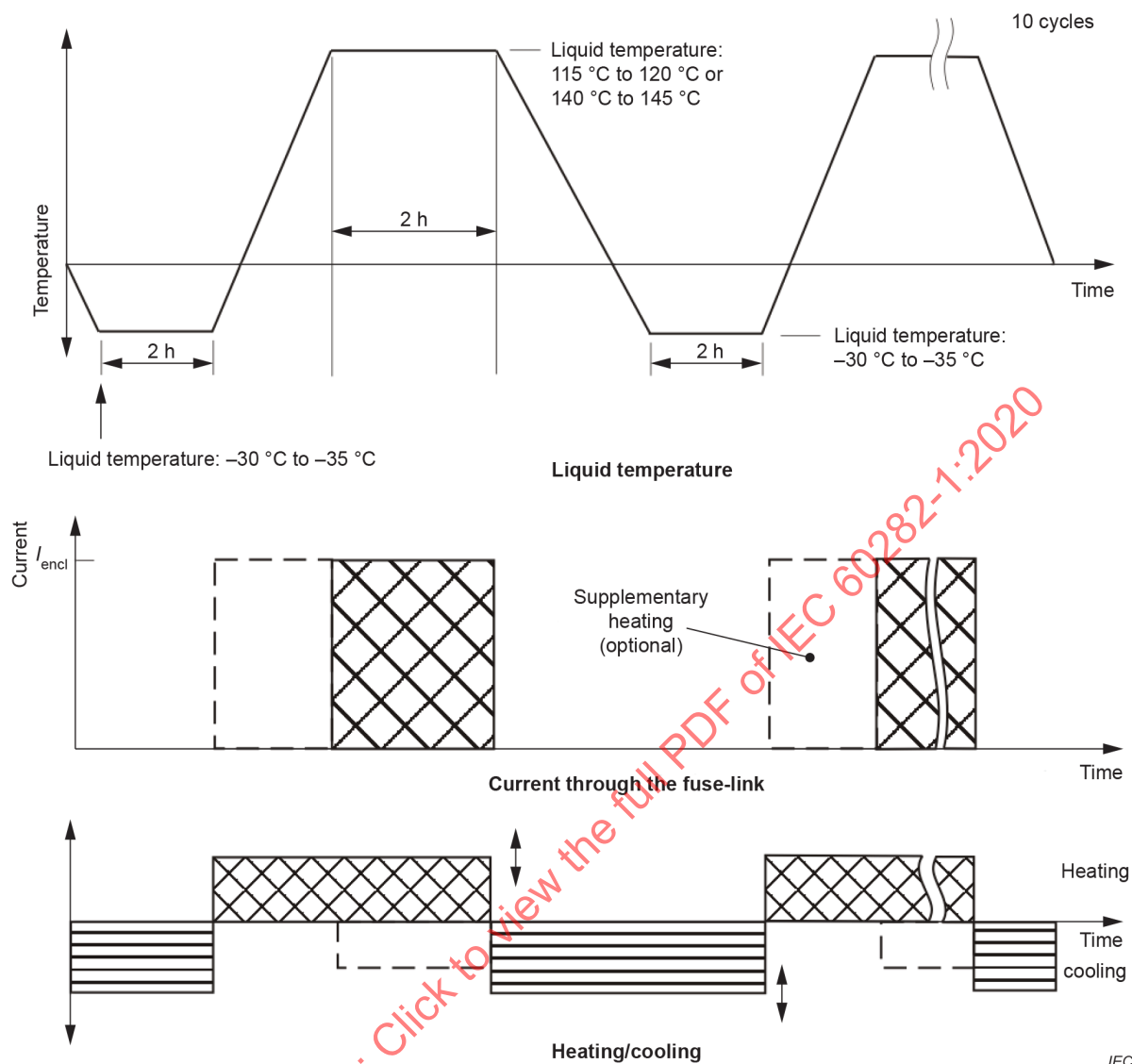


Figure 13 – Test sequence for transformer type applications

8.3.4.3.3 Alternative tests

If it is not convenient to perform the testing as specified in 8.3.4.3.2 it may be split into two parts with series a) performed before series b) as follows:

a) Test in air

With the fuse-link in air, its temperature is reduced to -30 °C ($+0\text{ °C}$, -5 °C). One complete cycle consists of raising the fuse-link temperature to 115 °C ($+5\text{ °C}$, -0 °C) or 140 °C ($+5\text{ °C}$, -0 °C), and back to -30 °C ($+0\text{ °C}$, -5 °C). The time for each thermal cycle from one temperature extreme to the other shall be any convenient value, as limited by the rate of temperature change specified in 8.3.4.3.1, with a holding period at each temperature extreme of at least two hours. The cycle may be interrupted for any convenient period of time when the fuse-link temperature is at 20 °C ($+10\text{ °C}$, -10 °C). Current through the fuse(s) may be used as a supplemental heat source during the heating cycle. See Figure 14 for a representation of the test sequence.

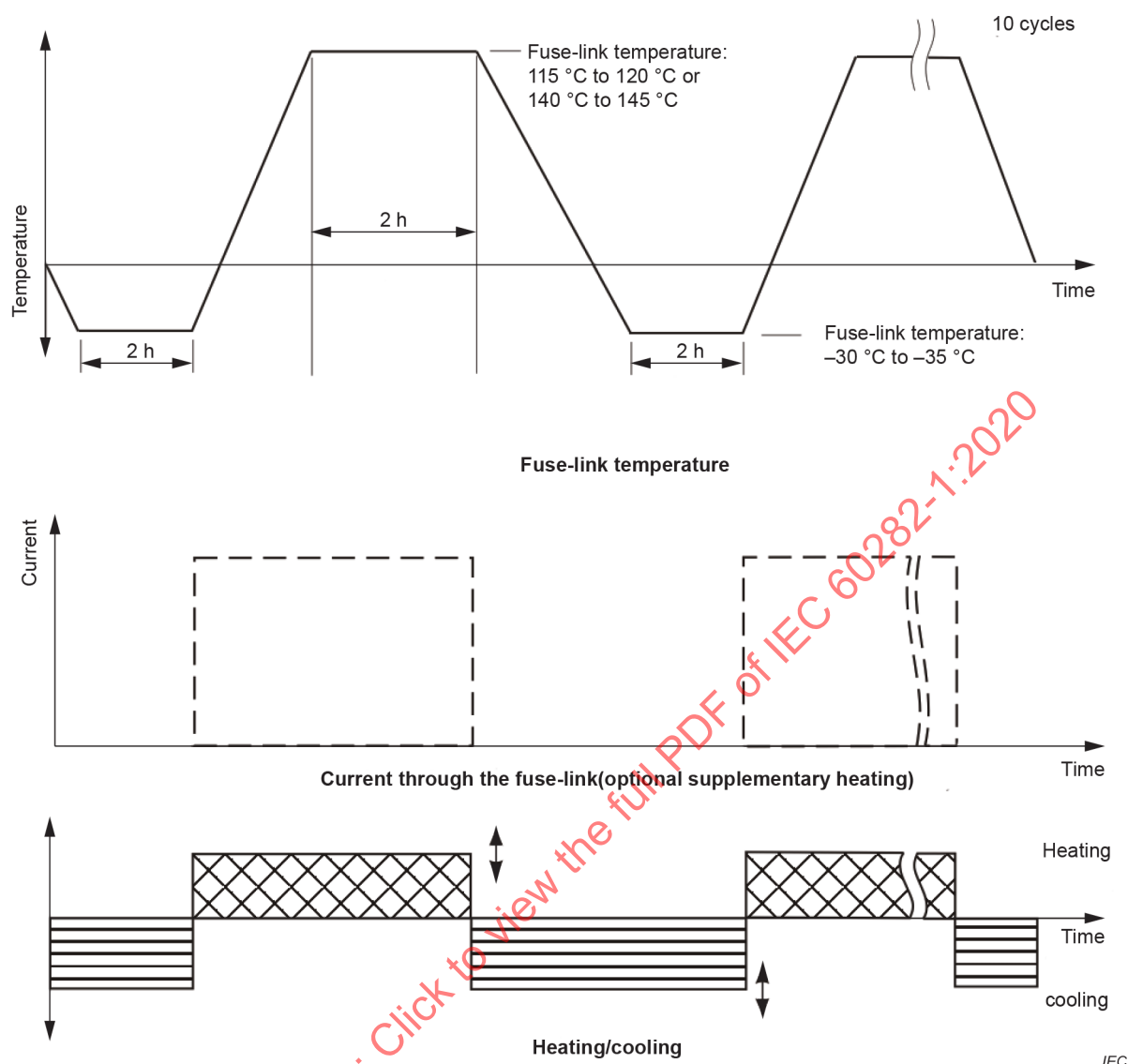


Figure 14 – Test sequence for series a) test for transformer type applications

b) Tests in insulating liquid

Each fuse-link from test series a) shall be immersed in insulating liquid. One complete cycle consists of raising the liquid temperature to 115 °C (+5 °C, -0 °C) or 140 °C (+5 °C, -0 °C), and back to a temperature of 15 °C to 30 °C. When the insulating liquid reaches the test temperature, current equal to the maximum enclosure current of the fuse-link (I_{fep}) at 115 °C or 140 °C shall be passed through the fuse for 2 h. During the 2 h period, the liquid temperature shall be maintained at 115 °C or 140 °C (+5 °C, -0 °C). The time from one temperature extreme to the other may be any convenient value. The cycle may be interrupted for any convenient period of time when the liquid temperature is at 15 °C to 30 °C. Current through the fuse(s) may be used as supplementary heating during the heating part of the cycle. See Figure 15 for a representation of the test sequence.

Both test series shall consist of ten cycles with five fuse-links of the design to be evaluated. It should be noted that more than one fuse-link can be tested in the same test series simultaneously, and on the last cycle of series a), the fuse-link temperature need only be reduced to room temperature.

The fuse-links shall be removed from the liquid, cleaned externally and opened for inspection of the arc-quenching medium, which shall show no sign of ingress of insulating liquid.

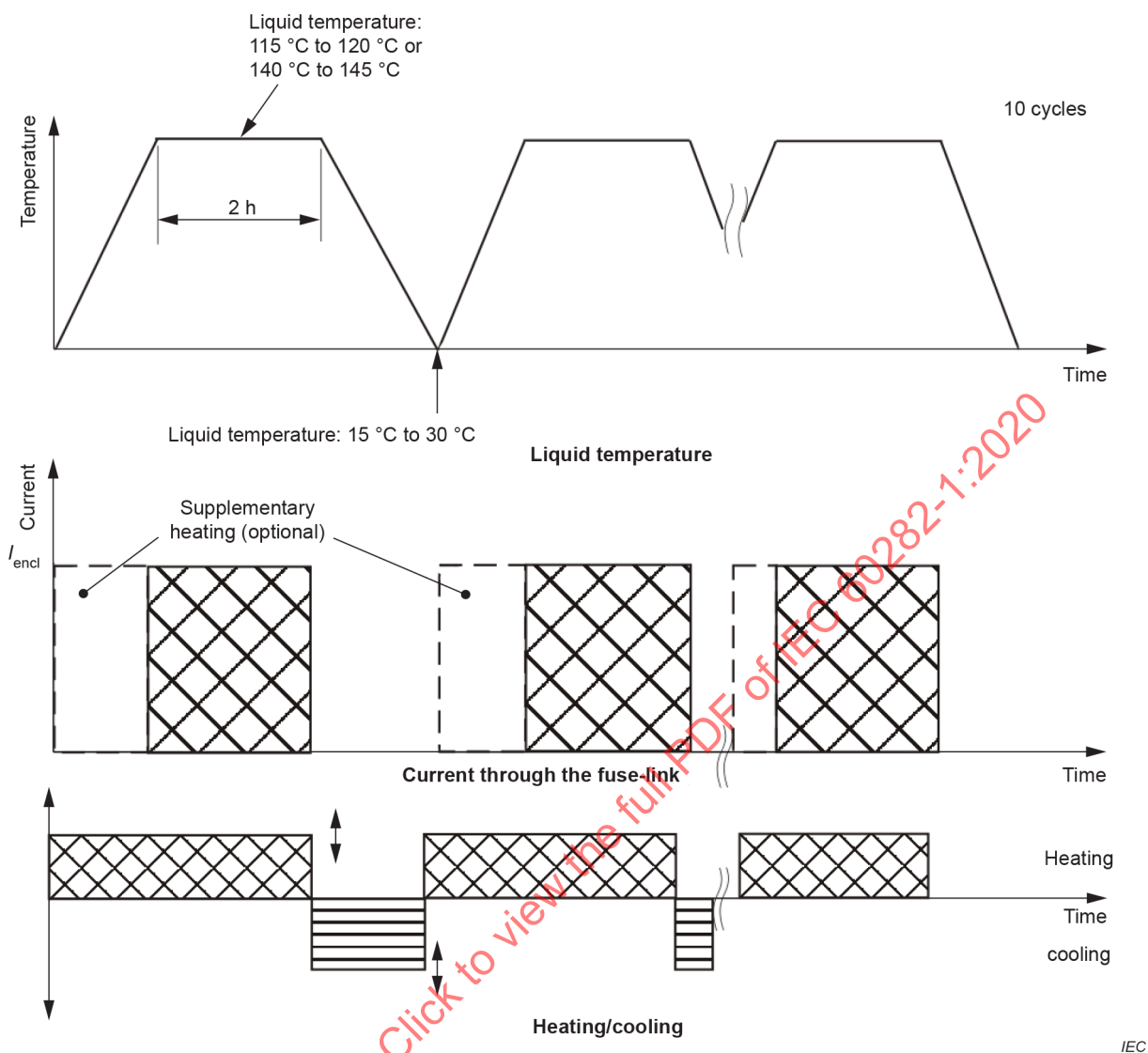


Figure 15 – Test sequence for series b) test for transformer type applications

8.4 Tests performed at the request of a user

8.4.1 Thermal shock tests for outdoor fuses

8.4.1.1 General

This test is only performed at the specific request of a user.

8.4.1.2 Test sample

The fuse-base shall be as specified by the manufacturer of the fuse-link being tested.

If several current ratings differing only in their fuse elements are involved, testing the fuse-link of the highest power dissipation is sufficient.

8.4.1.3 Arrangement of the equipment

The fuse shall be mounted in accordance with the instructions specified by the manufacturer and connected to the test circuit by bare copper conductors having sizes as specified in Table 10.

8.4.1.4 Test method

The fuse is subjected for 1 h to a value of current chosen by agreement between manufacturer and user and not exceeding the rated current. Then, the fuse is sprayed with artificial rain at an angle approximately 45 degrees to the vertical, at not higher than room temperature with a rate of precipitation of approximately 3 mm/min. This spraying shall be maintained for 1 min with the test current still flowing.

The fuse shall not exhibit any visible external sign of damage.

8.4.2 Waterproof test (ingress of moisture) for outdoor fuses

8.4.2.1 General

This test is performed only at the specific request of a user.

8.4.2.2 Test conditions

The verification of waterproofness (ingress of moisture) is achieved by submerging the test sample in a bath of hot water with a wetting agent. The volume of the water shall be at least 10 times the volume of the test sample.

8.4.2.3 Test sample

The test sample is a fuse-link representative of its type. Three fuse-links shall be tested.

8.4.2.4 Test method

Each test sample (at room temperature between 15 °C and 35 °C) shall be submerged for a time of 5 (+0, –1) min in the bath having a water temperature between 70 °C and 80 °C.

No bubbles shall emanate from the sample surface after disappearance of bubbles caused by initial submersion.

9 Routine tests

The provision of cold resistance values or other relevant routine test data on fuse-links shall be a matter for agreement between fuse manufacturer and user.

Annex A (normative)

Method of drawing the envelope of the prospective and transient recovery voltage of a circuit and determining the representative parameters

A.1 Introduction

A transient recovery voltage wave may assume several different forms, both oscillatory and non-oscillatory.

When the wave approaches that of a damped oscillation at one single frequency, the envelope is made up of two consecutive linear segments. The envelope shall reflect as closely as possible the actual shape of the transient recovery voltage. The method described here enables this aim to be achieved in the majority of practical cases with sufficient approximation.

Nevertheless, some cases may arise where the proposed construction would lead to parameters quite obviously more severe than would be justified by the transient recovery voltage curve. Such cases should be dealt with as exceptions and should therefore form the subject of an agreement between manufacturer and user or the test laboratory.

A.2 Drawing the envelope

The following method is used for constructing the line segments forming the envelope of the prospective transient recovery voltage curve.

- a) The first line segment passes through the origin O, is tangential to the curve, and does not intersect the curve.

In the case of curves whose initial portion is concave towards the left, the point of contact is often in the vicinity of the first peak (see Figure A.1, segment OA).

If the concavity is towards the right, as in the case of an exponential, the point of contact is at the origin (see Figure A.2, segment OA).

- b) The second line segment is a horizontal line tangential to the curve at its highest peak (see Figure A.1 and Figure A.2, segment AC).

The two-parameter envelope O, A, C is then obtained.

A.3 Determination of parameters

The representative parameters are, by definition, the coordinates of the point of intersection of the line segments constituting the envelope.

The two parameters u_c and t_3 , shown in Figure A.1 and Figure A.2, can be obtained as coordinates of the point of intersection A.

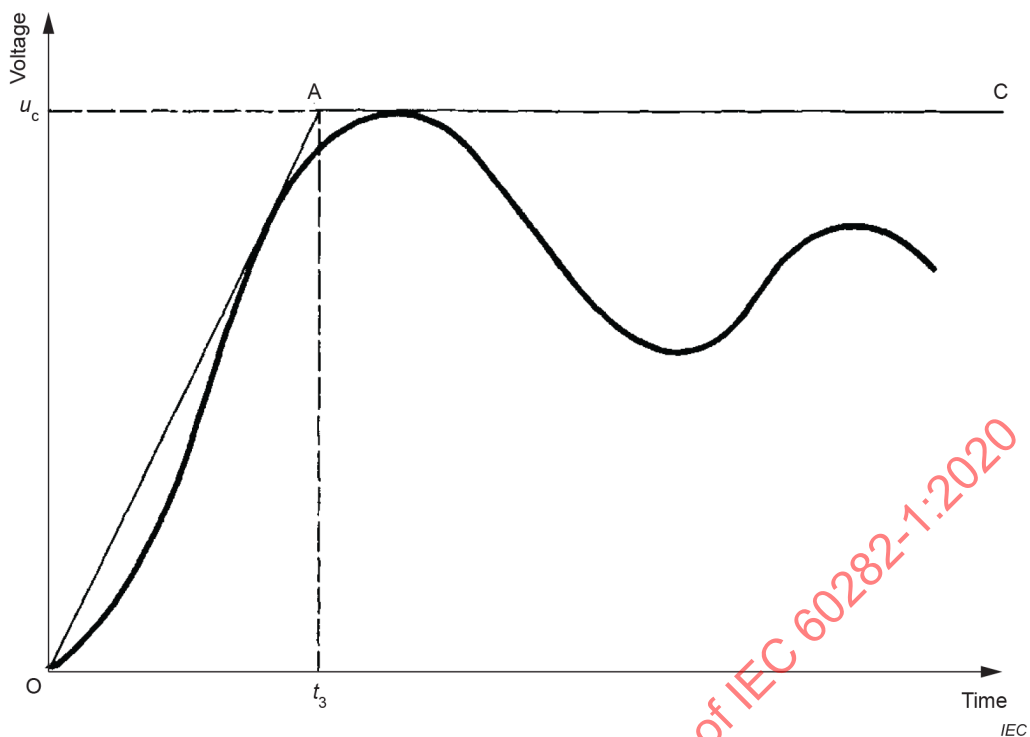


Figure A.1 – Example of a two-parameter reference line for a TRV whose initial portion is concave towards the left

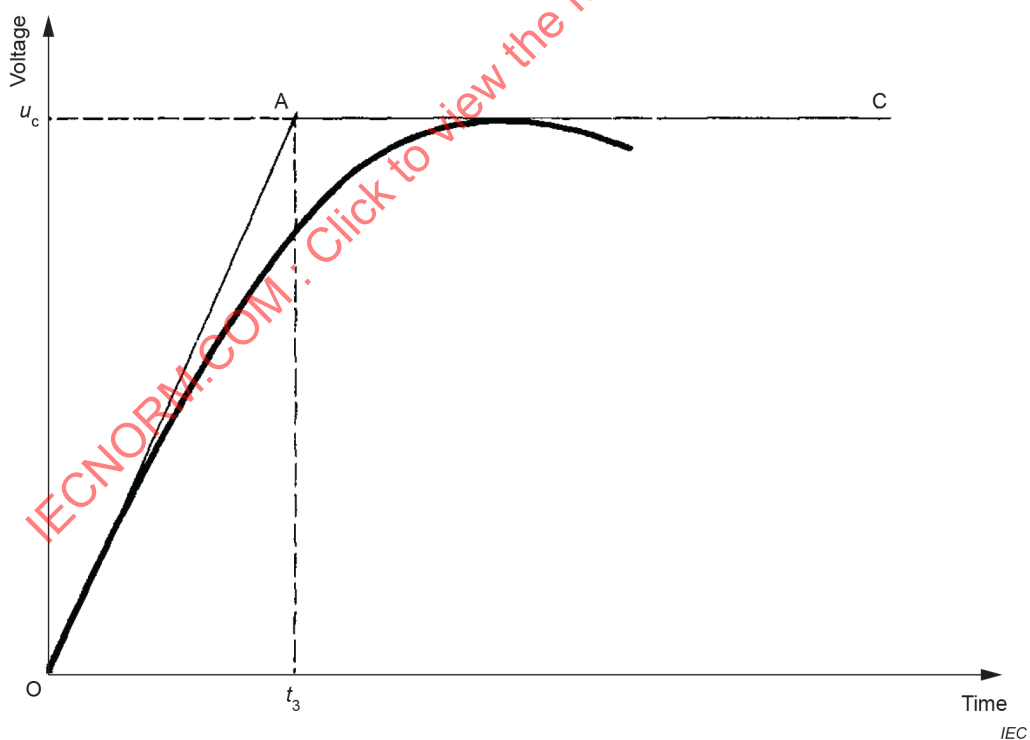


Figure A.2 – Example of a two-parameter reference line for an exponential TRV

Annex B (informative)

Reasons which led to the choice of TRV values for Test Duties 1, 2 and 3

A high-voltage fuse must operate satisfactorily under all normal service conditions and break the circuit without causing too high a switching voltage. The breaking tests specified in this document should therefore represent, as far as possible, the most onerous conditions normally met in service. Because fuses are used in the same networks as circuit-breakers, it might seem logical to use the same prospective TRV values as have been specified in IEC 62271-100 for circuit-breakers. However, careful study has shown that these values would not be suitable for tests on fuses due to the different principles involved in circuit interruption by circuit-breakers as compared to fuses.

Like a circuit-breaker, a fuse may cause transients in the recovery voltage after current zero, but it also produces a high arc voltage which may be dependent on the characteristics of the circuit as determined by the TRV conditions. It is therefore necessary to consider two fundamentally different effects of these test circuit parameters: the effect on the arc voltage and the effect on the transient recovery voltage.

Fuse failures could be caused either by an excessive peak voltage during arcing or by voltage after arc extinction which is itself excessive or produces repetitive restriking. The test should therefore prove that neither of these types of failure occurs.

It has been found necessary to test fuses at three different prospective breaking currents I_1 , I_2 and I_3 corresponding to Test Duties 1, 2 and 3 in Table 11 of this document. Since tests at I_3 usually cover the performance at small overload currents, it is only necessary to cover the complete range of prospective short-circuit currents in tests at I_1 and I_2 which sometimes differ very widely from each other. In general, I_2 varies between 0,2 % and 100 % of I_1 , depending on the current rating, the rated maximum breaking current and the design of a particular fuse. The wide range of prospective breaking currents, each associated with an infinite variety of TRV conditions, can only be covered by the two test currents by taking account of the empirical knowledge of the behaviour of current-limiting fuses. Based on present knowledge of fuse techniques and on experimental evidence, the following facts were taken into consideration.

During its arcing time, a fuse absorbs such an amount of energy that transient voltage oscillations, due to the inductance and capacitance of the circuit, are generally completely damped out. The only exception may occur during the first few microseconds after melting, while the arc is being established. During this period, the arc is still in relatively cool surroundings and the damping effect by energy absorption can be small, resulting in high peak transient voltages if the arc voltage rises very steeply to a higher voltage than the crest of the source voltage.

However, in the majority of the fuse designs marketed today, the arc voltage does not rise in this way and excessive arc voltages are not usually produced.

Further, transients will only be generated in the recovery voltage if, immediately before or after current zero, there is a step change from arc voltage to the circuit EMF or by chopping the current. Because of the residual conductivity of the hot arcing products in a blown fuse-link, severe chopping does not take place and the voltage step is the only condition which has to be considered.

Because the fuse absorbs a large amount of energy during the arcing period, the power factor can be considered as shifting from its original value towards unity. The actual current zero is thus nearer to the voltage zero than it would be in the same circuit without any arc voltage. With the very high currents, defined by I_1 , there is practically no voltage step at current zero and consequently recovery voltage transients are not produced.

However, with Test Duty 2 where I_2 is generally lower than I_1 , the shift of the power factor is less pronounced and the value of the circuit EMF at current zero is sufficient to produce a voltage step and considerable transients. The value of I_2 is deliberately chosen to produce conditions giving a minimum power-factor shift so that the maximum voltage step is likely with this test current rather than with I_1 . In the first few milliseconds after current zero, the hot products of the arc are still in a conducting state and this conductivity decreases, due to heat dissipation, slowly in comparison with the time constants of the transient voltage. In fuse testing, this conductivity produces additional damping of transient in the recovery voltage. However, the amount of damping is proportional to the characteristic impedance

$$\sqrt{L/C} = 2\pi f_0 L$$

of the circuit. As a result, transients of higher natural frequency f_0 are more effectively damped than those of lower frequency. These lower frequency transients are therefore sustained for longer and, since these are imposed on the power-frequency recovery voltage, they may produce an extra voltage stress on the blown fuse-link particularly if they persist until the crest value of the power-frequency recovery voltage is reached. Failures have occurred due to restrikes caused by this extra stress and the test specifications shall therefore take account of this condition.

The above considerations may be summarised as follows.

The arc voltage of a fuse is not significantly affected by the TRV conditions of the circuit, except during the first few milliseconds after melting.

Whether transients in the actual recovery voltage will be produced depends on the value of the breaking current. The highest transients are to be expected with test currents I_2 of Test Duty 2, and the transients with the lowest natural frequencies are the more harmful. If test current I_1 is very high compared with I_2 , it does not usually produce transients.

Since it was desirable that the TRV characteristics for fuses and circuit-breakers should be the same, it was decided to accept the standardised values specified in IEC 62271-100. However, bearing the above factors in mind, the following decisions were taken as regards the test.

Test Duty 1 – Since transients are not generated in the actual recovery voltage, the prospective TRV conditions are irrelevant and therefore not specified. The exceptional case, where the TRV conditions can influence the peak arc voltage, has been covered separately.

Test Duty 2 – Since low-frequency transients have been shown to be more harmful, appropriate values to produce a typical low-frequency prospective TRV have been derived from the circuit parameters specified in Table 24 of IEC 62271-100:2008 and IEC 62271-100:2008/AMD2:2017. Assuming single-frequency oscillations, these values represent one-fourth to one-third of the lowest frequencies in IEC 62271-100 for the relevant voltages. In addition, the figures of peak voltage have been based on an amplitude factor of 1,5, as compared with 1,4 in Table 12 and Table 13 of this document.

Test Duty 3 – This document does not specify TRV conditions; instead 7.6.1.5.5 specifies that a resistor shall be shunted across the circuit reactances in order to obtain complete suppression of oscillating transients. However, experience has shown that this suppression is sometimes not obtained, particularly in circuits of very low natural frequency, when the resistor is of the value specified. These values have therefore been modified to ensure that at least critical damping is achieved regardless of the natural frequency of the test circuit.

Annex C (informative)

Preferred arrangements for temperature-rise tests of liquid-tight fuse-links

Figure C.1 gives a typical example of a testing arrangement for fuse-links with a diameter of 63,5 mm, lengths from 256 mm to 361 mm and current ratings from 63 A up to 200 A. Figure C.2 gives details of clamping arrangement for fuse-link in the tank.

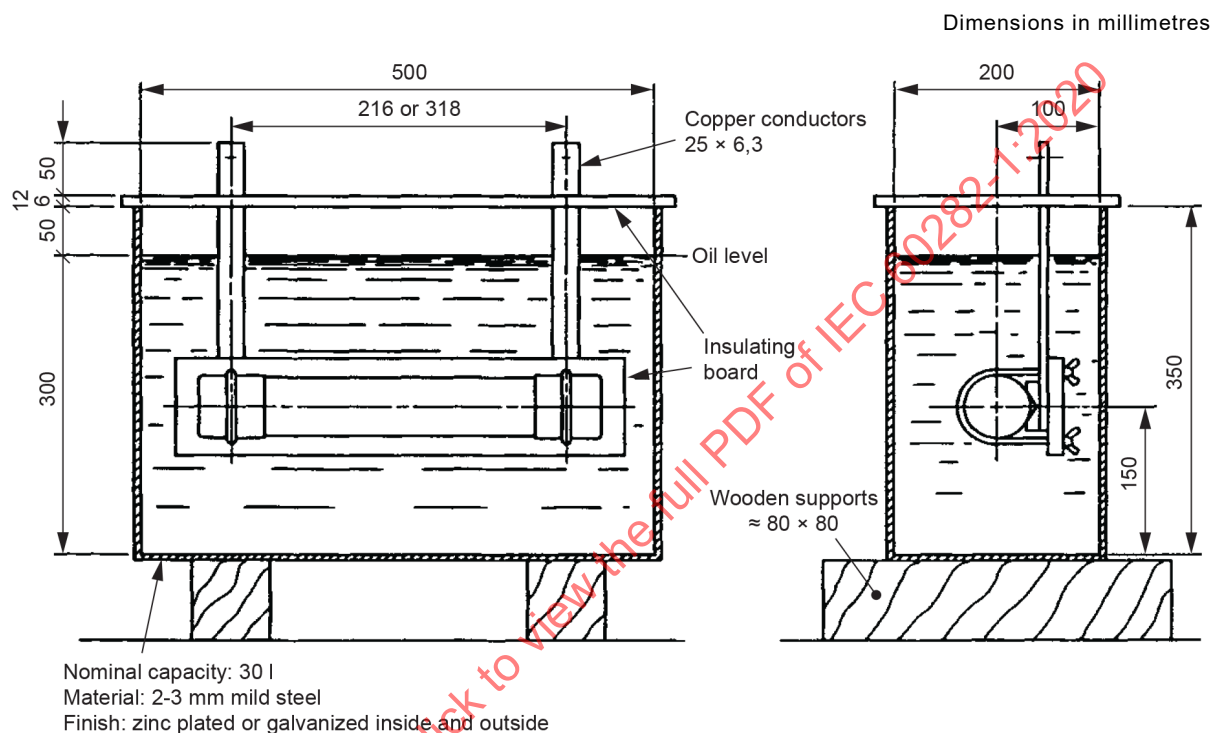
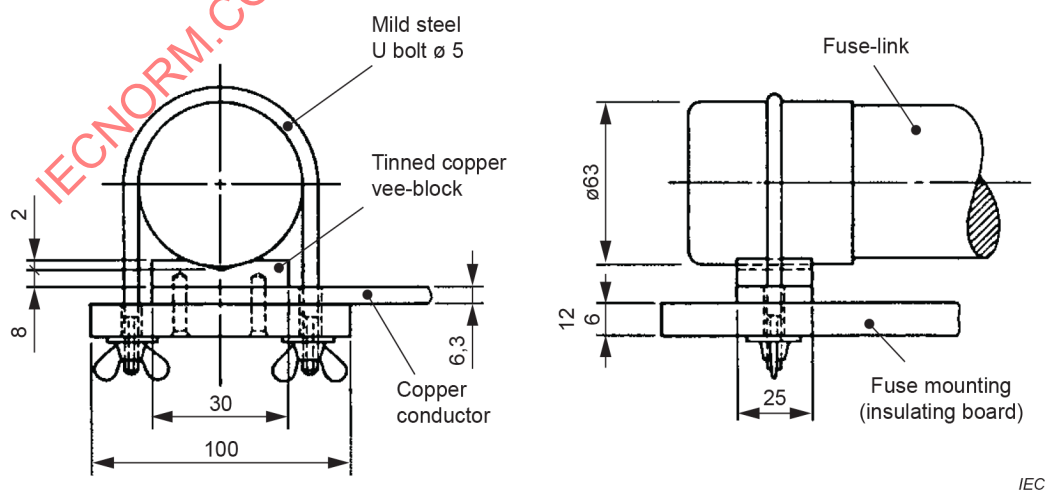


Figure C.1 – Test tank for temperature-rise tests of liquid-tight fuses



This arrangement may also be employed for breaking capacity tests. Suitable reinforcement may be employed, where necessary, and the fuse-links may be moved to equalise dielectric clearances to the tank.

Figure C.2 – Details of clamping arrangement for fuse-link in the tank

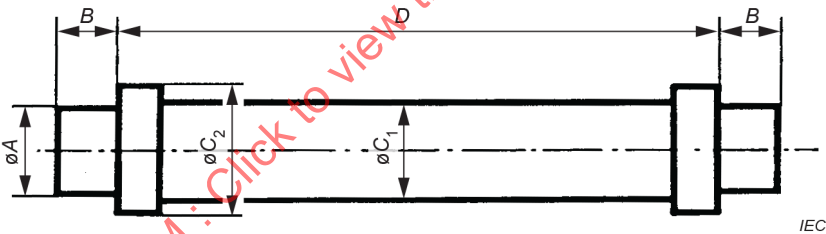
Annex D (informative)

Types and dimensions of current-limiting fuse-links specified in existing national standards

This annex is a first step towards a dimensional standardisation of current-limiting fuse-links. It collects and classifies only the types and the dimensions specified in the various existing national standards. Other current practices with other dimensions are not included for the simple reason that they are not officially standardised.

It is expected that this annex will keep countries informed of efforts devoted to the standardisation of fuse-links and will encourage them to achieve a reduction of the number of types. It is hoped that a second step will be to up-date and complete this annex in order to obtain a worldwide standardisation providing dimensional interchangeability of current-limiting fuse-links.

Pending further information, three types of fuse-links (I, II and III) are defined according to the dimensions shown on the following data sheets I, II and III.

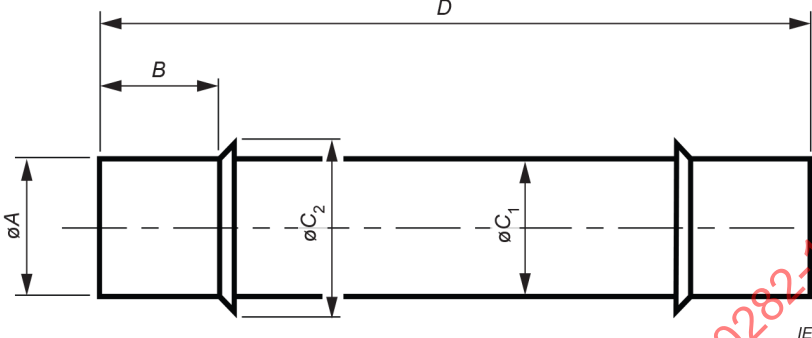
FUSE-LINKS FOR CURRENT-LIMITING FUSES				Data sheet I
TYPE I Dimensions in millimetres 				
ØA	B	ØC ₂ min.	ØC ₁ and C ₂ max.	⁰ D – 1
45 ± 1	33 ⁺² ₀	50	88	192 292 367 442 537
55 ± 0,5	35 ± 1	60	80	450

The striker or indicator, if any, shall be on the centre-line of the fuse-link.

	FUSE-LINKS FOR CURRENT-LIMITING FUSES	Data sheet II
--	---------------------------------------	----------------------

TYPE II

Dimensions in millimetres

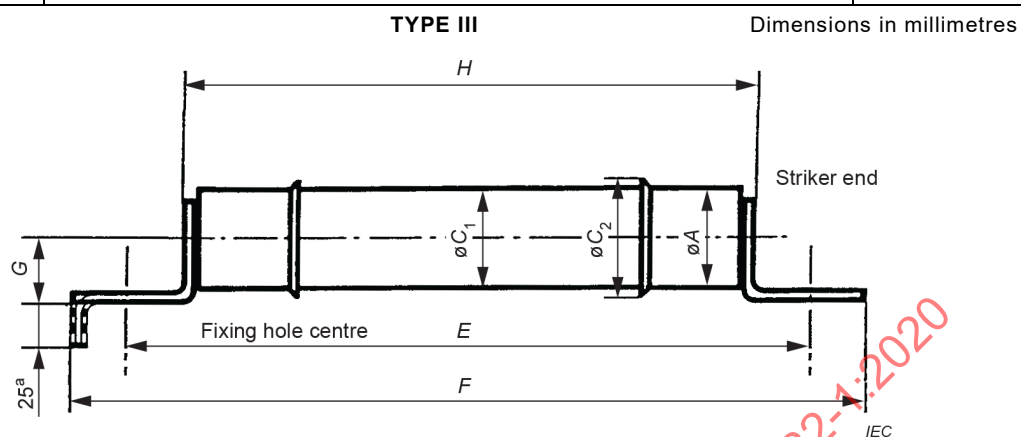


IEC

$\varnothing A \pm 0,5$	$B \begin{smallmatrix} +13 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$\varnothing C_1$ max.	$\varnothing C_2$ max.	$D \begin{smallmatrix} 0 \\ -4 \end{smallmatrix}$
25,4	15	28	28	145 197 256
50,8	38	54	55,6	275 361 567 916
63,5	38	67	68	256 361
76,2	38	80	81	256 361 567 916

The striker or indicator, if any, shall be on the centre-line of the fuse-link.

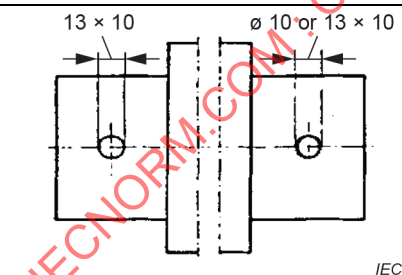
	FUSE-LINKS FOR CURRENT-LIMITING FUSES	Data sheet III
--	--	-------------------



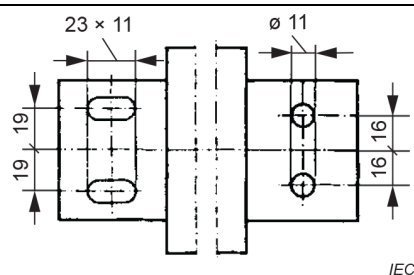
* For tag D only.

$\varnothing A$ max.	$\varnothing C_1$ max.	$\varnothing C_2$ max.	E	F_{-8}^0	H max.	G	Tags
80	80	81	235 305 419	259 340 464	200 264 369	42 ± 2 42 ± 2 41 ± 2	Figure a) Figure b) Figure d)
82	82	91	235 267 305 320 400 419 476 553	277 309 347 362 442 464 518 595	205 227 269 280 360 375 436 517	Higher than or equal to $\varnothing C_2/2$	Figure a) Figure c) Figure b)- c) Figure c) Figure c) Figure d) Figure c) Figure b)

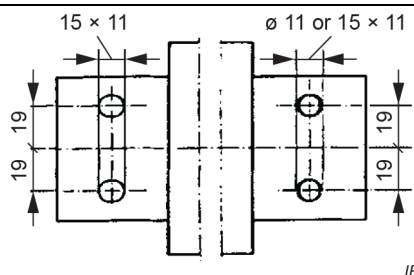
One or two round or elongated holes are provided on the fuse-link tags according to the following.



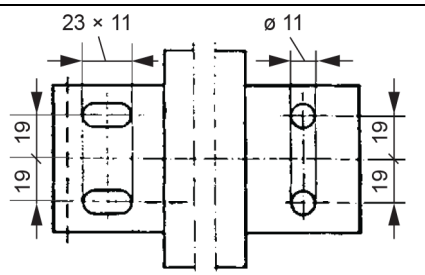
a)



b)



c)



d)

The striker or indicator, if any, shall be on the centre-line of the fuse-link (on the right-hand side of the sketches).

Annex E

(normative)

Requirements for certain types of fuse-links intended for use at surrounding temperatures above 40 °C

E.1 Types of fuse-link covered by this annex

E.1.1 General

Only certain types of fuse-link are covered by this annex. Other types, although used in applications that expose them to surrounding temperatures above 40 °C, have construction, application, or service history considerations that are deemed such as to exempt them from some, or all, of these requirements.

E.1.2 Covered fuse-link types

- a) Back-Up and General-Purpose fuse-links of organic type as defined in 3.3.10
- b) Full-Range fuse-links of all types

E.1.3 Exempted fuse-links

- a) Back-Up and General-Purpose type fuse links not classified as organic are exempt from MAT breaking test requirements.
- b) Organic fuse-links for use only with striker tripped switchgear are exempt from MAT breaking test requirements.
- c) Organic Back-Up fuse-links that are intended only for use in equipment where there is no significant heat source other than the fuse itself (e.g. fuse-links in switch-fuse combinations covered by IEC 62271-105 or similar), are exempt from MAT breaking test requirements.

E.1.4 Introduction

Normal service conditions as given in 4.1 of this document specify a maximum ambient temperature of 40 °C. However, some types of fuse-links are intended for use in surrounding temperatures well above this limit. Application examples include use within transformer tanks and other equipment capable of significant heat generation, and also situations involving strong incident sunlight or high ambient temperatures. This annex lists the specific types of fuse-link involved, and the special requirements that apply to fuses for such applications. When a fuse-link intended for such an application requires tests according to this annex, the fuse is assigned a maximum application temperature (MAT) defined in Clause E.3. It is the temperature at which such tests are performed. If the maximum temperature for a particular application is known, an appropriately tested fuse may then be chosen (that is, one having an MAT equal to or greater than the maximum temperature anticipated in service).

It should be noted that, for some applications, the MAT might only occur under abnormal conditions, for example transformer overload or during equipment failure. In such cases, although a fuse can be assigned an appropriate MAT, it may not be suitable for continuous operation at such a temperature without exceeding the maximum temperatures specified in Table 6. Indeed, some typical MAT values may be higher than the maximum temperatures specified in Table 6.

Fuses covered by this annex are likely to need derating for typical service conditions (see IEC TR 62655:2013, Annex A and consult the manufacturer for information on fuse derating at surrounding temperatures above 40 °C).

E.2 Definitions

Maximum Application Temperature (MAT)

This is a temperature assigned by a manufacturer to a fuse-link. It is the maximum temperature of the surrounding medium in contact with the fuse-link that it has been shown to be capable of withstanding without impairing its ability to interrupt fault current. It applies only to fuses designed for use in temperatures in excess of 40 °C.

E.3 Preferred MAT ratings

For fuse-links intended for use above 40 °C, the manufacturer shall provide information regarding the MAT value. This value should be selected from the R20 series 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 112, 125, 140, etc. Preferred values are 71 °C, 112 °C and 140 °C.

E.4 Specific service conditions

The requirements in this annex are intended to cover the following service conditions. They are the same as those covered in IEC TR 62655:2013, Annex A that discusses derating when the surrounding temperature exceeds 40 °C.

- a) Fuses mounted outdoors with free airflow around the fuse-link. The relevant fuse-link rated MAT is based on the temperature of the air that is cooling the fuse.
- b) Fuses mounted in large enclosures with relatively free airflow around the fuse-link. The relevant fuse-link rated MAT is based on the temperature of the air inside the enclosure that is cooling the fuse.
- c) Fuse-links mounted in relatively small enclosures or canisters. It is important to note that the relevant fuse-link rated MAT is based on the temperature of the fluid (e.g. air, SF₆, insulating liquid, etc.) outside the small enclosure or canister that is cooling it.
- d) For fuse-links mounted in large enclosures with relatively free liquid flow around the fuse-link. The relevant fuse-link rated MAT is based on the temperature of the liquid that is cooling the fuse.

E.5 Additional breaking test requirements

E.5.1 Test practices

Breaking test practices shall be as specified in 7.3, 7.6.1 and as follows.

The following tests shall be performed in addition to those specified in 7.6, unless otherwise specified in this annex.

NOTE Testing in accordance with 7.6, with surrounding temperatures below 40 °C, is necessary because for some fuse designs, and for certain aspects of breaking performance, testing at lower temperatures can be more onerous. The elevated temperature testing is necessary because for other designs, and for other aspects of breaking performance, elevated temperature testing can be more onerous.

a) Test Duty 1:

No additional tests are required

NOTE TD1 tests are considered unnecessary since elevated temperature test failures are generally related to elevated component temperatures and TD2 tests (intended to approximate maximum arc energy) are apt to produce higher temperatures.

b) Test Duty 2:

For organic Back-Up, organic General-Purpose and organic Full-Range fuses, three Test Duty 2 tests, in addition to those specified in Table 11, shall be performed with the fuses at the maximum surrounding temperature specified by the manufacturer (MAT). The additional tests apply only to the largest current rating of a homogeneous series.

c) Test Duty 3:

Organic Back-Up fuses: For an organic Back-Up fuse, if the melting time observed during Test Duty 3 tests specified in 7.6.1.2, and performed with a surrounding temperature below 40 °C, resulted in a melting time greater than 100 s, two additional Test Duty 3 tests shall be performed with the fuse at its MAT. These additional tests apply only to the largest current rating of a homogeneous series that has a melting time in excess of 100 s.

All General-Purpose fuses: No additional testing is required. However, the test current used for the TD3 test may, in surrounding temperatures above 40 °C, then produce melting of the fuse in less than one hour. At the request of the user, time-current data may be supplied to cover this situation (see IEC TR 62655:2013, 5.1.1.2.8).

All Full-Range fuses: The tests specified in Table 11 are replaced with the tests specified in E.5.3.

E.5.2 Test procedure

Test procedures shall be as specified in 7.6.2, 7.6.3 and as follows.

In most cases, the elevated temperature testing covered in this annex can be performed with the test sample placed in a stable thermal environment, such as a temperature controlled oven, set to the temperature for which the fuse is rated by the manufacturer (MAT). Once the fuse body has reached a stable temperature, any circulating air fans used shall be switched off for the remainder of the test. If a fuse only intended for use in liquid-filled enclosures is being tested, for convenience, in air (see 7.6.1.6.2), a circulating fan need not be switched off during the test.

Generally, when testing is performed according to Annex E, a fuse-link will not be mounted in actual equipment with which it will be used in service (for example, when an oven is used to create the MAT). In this case, while the fuse-link should be mounted in a manner that simulates service conditions as closely as possible, it is recognised that all aspects of its mounting (for example grounding of components) may not fully comply with all the requirements of 7.3 and 7.6. However, this is considered acceptable because Annex E testing is performed in addition to the tests covered in 7.6.

If a fuse-link, required to be tested according to this annex, is intended for use in a small enclosure or canister (see item c) of Clause E.5), it shall be tested in an appropriate small enclosure (forming a fuse enclosure package, FEP) to simulate service conditions. If the MAT assigned to the fuse-link/FEP is above 40 °C, then the fuse and enclosure combination shall be mounted in an oven or larger enclosure in order to permit the surrounding medium that cools the FEP (e.g. air or liquid) to have a temperature equal to or greater than the assigned MAT. Auxiliary heating, as detailed above may be used. In general, an individual FEP need not be tested if the fuse-link it uses has been tested under equivalent, or more severe, conditions.

E.5.3 Full-Range fuse Test Duty 3 tests

For Full-Range fuses intended for use at surrounding temperatures above 40 °C, Test Duty 3 tests shall be performed in a heated enclosure designed to simulate this application, as detailed in E.5.2.

The test current I_3 is chosen to represent the lowest current which could cause the fuse-link to melt when it is applied at the maximum surrounding temperature specified by the manufacturer (MAT). Details of the test arrangement and method of determining the I_3 current are given in Clause E.6.

A two-part breaking test is then carried out as in item c) or d) of 7.6.3.2. The high-voltage current I_3 is determined from the thermal testing described in Clause E.6. The low-voltage source may be set to a higher value than I_3 throughout the melting period in order to avoid an unnecessarily long testing time, provided that the resulting pre-arcing time is not less than 1 h.

After 1 h, the low-voltage current may be increased by up to 15 % above its original value in order to induce melting

E.6 Full-Range fuse: determination of I_3 current

This procedure may be performed by the manufacturer.

Three samples shall be used for the determination of the I_3 value. Each sample is placed in a stable thermal environment as detailed in E.5.2, set to the temperature (MAT) for which the fuse is rated by the manufacturer.

Once the fuse-link body has reached a stable temperature, current is then applied to the fuse. When the fuse-link body temperature has again stabilised, the value of the current is again increased. This process is repeated until the fuse operates. Temperature is defined as being stable when the increase of the temperature rise does not exceed 2 % or 1 K/h.

The increments by which the current is increased are not specified but could typically be in the range of 5 % to 10 %.

The highest current that each of the three fuses carried without melting is then considered. I_3 is defined as 0,9 times the lowest current of these three values. The 0,9 factor is used to allow for manufacturing tolerances, so that the I_3 test is then performed with a current slightly less than the lowest current which could melt a fuse-link when it operates surrounded by the maximum temperature for which it is rated by the manufacturer.

Annex F (informative)

Criteria for determining I_t testing validity

F.1 Introduction

Fuses that require an I_t test are those in which, at different current levels, different series parts of the element perform most of the current interrupting duty. When the high current tests (TD1 and TD2) and low current tests (TD3) do not cover the transitional region between currents interrupted by the different parts of the element, the I_t testing is intended to demonstrate that there are no currents that cannot be interrupted, either by the different sections individually or in combination. Because of the wide variety of fuse designs, there are no simple rules for determining the validity of such testing, so it is the intent of this annex to give general guidance to those attempting to verify that the I_t testing that has been performed does indeed show what is intended.

F.2 Breaking processes

Possibly the simplest illustration of the I_t phenomenon would be with a fuse-link having a single element consisting of a current-limiting section (strip with restrictions) in series with an expulsion section (element in a sleeve). At high currents, only the strip melts and arcs (with all restrictions melting virtually simultaneously) while at low currents, only the expulsion section melts and arcs. With such a design, the melting time-current characteristics (TCC) of the two series sections will cross at some intermediate current where both the low current section and at least one restriction of the high current section will melt and arc. Such a cross-over current can usually be determined relatively easily, and is well defined if the TCC curves cross each other with a relatively large angle. The crossing current is the I_t current of the fuse. Tests at two current levels, a little above and below this I_t current, will therefore demonstrate that the fuse-link can interrupt the highest current that the low current section is required break (without help from the high current section) and the lowest current that the high current section is required to break (without help from the low current section).

It is then a reasonable assumption that the high current section can break all currents higher than I_t , and the low current section can break all currents lower than I_t . Conformance with the standard can be verified if each test current produces arcing only in the relevant section. This can be determined by techniques such as physical examination (that is, opening the fuse-link), X-ray examination, or the equivalent.

The above simple illustration shows the basic principle to be followed for all fuses. However, many fuse designs do not conform to this simple process. The melting TCC of the series sections may cross at such a shallow angle that there is not one distinct I_t value but instead a cross-over zone that is larger than $\pm 20\%$ of any one current value. For other designs, the melting TCC may not actually cross at all, so it is possible for one section to melt for all currents, even when it is another section that is performing most of the interrupting function. With some designs that have many elements in parallel, the current value at which the high current sections begin to melt and participate in the breaking process may be substantially below the apparent "cross-over" value that corresponds to the intersection of the TCC curves for the different sections.

This is caused by the phenomenon whereby, at some currents, parallel elements do not arc simultaneously but sequentially. In all of these cases, only the fuse manufacturer is in a position to specify the values of test current that will demonstrate compliance with the standard, and, often, only the manufacturer is in a position to determine whether a particular test has demonstrated the desired result. This is because simply demonstrating current interruption is not a sufficient criterion to show that the cross-over zone has been adequately explored. For this reason, 7.6.1.3 permits the manufacturer to specify other test currents than $1,2 I_t$ and $0,8 I_t$, if these values are not appropriate.

Bibliography

IEC 60050-441:1984, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 441: Switchgear, controlgear and fuses*
IEC 60050-441:1984/AMD1:2000

IEC 60050-614:2016, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 614: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

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

IEC 60085:2007, *Electrical insulation – Thermal evaluation and designation*

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

IEC 62271-100:2008/AMD1:2012

IEC 62271-100:2008/AMD2:2017

IEC 62271-103, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 103: Switches for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV*

IEC TR 62655:2013, *Tutorial and application guide for high-voltage fuses*

ISO 148-2:1998, *Metallic materials – Charpy pendulum impact test – Part 2: Verification of test machines*

ISO 179 (all parts), *Plastics – Determination of Charpy impact properties*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60282-1:2020

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	84
1 Domaine d'application	86
2 Références normatives	86
3 Termes et définitions	86
3.1 Caractéristiques électriques	86
3.2 Fusibles et leurs éléments constitutifs	90
3.3 Termes complémentaires	92
4 Conditions normales et spéciales de service	94
4.1 Conditions normales de service	94
4.2 Conditions spéciales de service	95
4.2.1 Généralités	95
4.2.2 Altitude	95
4.3 Comportement dans l'environnement	96
5 Valeurs assignées et caractéristiques	96
5.1 Généralités	96
5.2 Valeurs assignées et caractéristiques qui s'appliquent à tous les fusibles	97
5.2.1 Tension assignée (U_T)	97
5.2.2 Courant assigné d'un socle	97
5.2.3 Courant assigné d'un élément de remplacement (I_T)	98
5.2.4 Niveau d'isolement assigné (d'un socle)	98
5.2.5 Pouvoir de coupure assigné	99
5.2.6 Fréquence assignée	100
5.2.7 Températures limites	100
5.2.8 Valeurs limites des tensions de coupure	102
5.2.9 Caractéristiques temps-courant	103
5.2.10 Caractéristique d'amplitude du courant coupé limité	104
5.2.11 Caractéristiques I^2t	104
5.2.12 Puissance dissipée	104
5.3 Valeurs assignées et caractéristiques de types d'éléments de remplacement particuliers et applications	105
5.3.1 Éléments de remplacement pour applications de transformateur	105
5.3.2 Éléments de remplacement pour application dans des circuits comprenant des moteurs	105
5.3.3 Éléments de remplacement pour la protection des condensateurs	105
5.3.4 Fusibles équipés de dispositifs indicateurs	105
5.3.5 Exigences spéciales pour les fusibles associés destinés à être utilisés dans les combinés interrupteurs-fusibles selon l'IEC 62271-105	107
5.3.6 Courant permanent admissible d'un élément de remplacement (I_a)	107
5.3.7 Courant d'enveloppe maximal (I_{fep})	107
6 Conception, construction et performances	108
6.1 Exigences générales concernant le fonctionnement des fusibles	108
6.1.1 Généralités	108
6.1.2 Conditions normalisées d'utilisation	108
6.1.3 Conditions normalisées de comportement	109
6.2 Marquages à porter sur les plaques signalétiques	109

6.3	Dimensions	110
7	Essais de type réalisés sur tous les fusibles	110
7.1	Conditions d'exécution des essais.....	110
7.2	Liste des essais de type.....	111
7.3	Règles communes à tous les essais de type	111
7.3.1	Généralités	111
7.3.2	Montage de l'élément de remplacement.....	111
7.3.3	Etat de l'appareil à soumettre à essai	111
7.3.4	Montage des fusibles	111
7.4	Essais diélectriques	112
7.4.1	Règles d'essai	112
7.4.2	Points d'application de la tension d'essai pour les essais aux ondes de choc et à fréquence industrielle	112
7.4.3	Conditions atmosphériques pendant l'essai	113
7.4.4	Essais à sec aux chocs de foudre	113
7.4.5	Essais de tension de tenue à sec à fréquence industrielle	113
7.4.6	Essais de tension de tenue sous pluie à fréquence industrielle	114
7.5	Essais d'échauffement et mesure de la puissance dissipée.....	114
7.5.1	Règles d'essai	114
7.5.2	Mesure de la température	115
7.5.3	Mesure de la puissance dissipée	116
7.6	Essais de coupure	116
7.6.1	Règles d'essai	116
7.6.2	Procédure d'essai	126
7.6.3	Méthodes d'essai en variante pour la suite d'essais 3.....	128
7.6.4	Essais de coupure pour les éléments de remplacement d'une série homogène	132
7.6.5	Qualification par interpolation d'une série homogène d'éléments de remplacement associés	133
7.6.6	Acceptation d'une série homogène d'éléments de remplacement de longueurs différentes	134
7.7	Essais de vérification de la caractéristique temps-courant	134
7.7.1	Règles d'essai	134
7.7.2	Procédures d'essai	135
7.8	Compatibilité électromagnétique (CEM)	135
8	Essais de type types d'éléments de remplacement particuliers et applications.....	136
8.1	Généralités	136
8.2	Liste des essais de type.....	136
8.3	Essais exigés pour un type de fusible particulier ou une application particulière.....	137
8.3.1	Essais d'indicateurs (pour les fusibles équipés d'indicateurs)	137
8.3.2	Essais de percuteurs (pour les fusibles équipés de percuteurs).....	137
8.3.3	Essais pour les fusibles associés destinés aux combinés interrupteurs-fusibles selon l'IEC 62271-105.....	140
8.3.4	Essais d'étanchéité au liquide.....	141
8.4	Essais effectués à la demande de l'utilisateur	147
8.4.1	Essais de résistance aux variations brusques de température pour fusibles pour l'extérieur.....	147
8.4.2	Essai d'étanchéité (pénétration d'humidité) pour fusibles pour l'extérieur.....	147
9	Essais individuels de série	148

Annexe A (normative) Méthode de tracé de l'enveloppe de la tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit et détermination des paramètres représentatifs	149
A.1 Introduction	149
A.2 Tracé de l'enveloppe	149
A.3 Détermination des paramètres	149
Annexe B (informative) Justification du choix des caractéristiques de TTR pour les suites d'essais 1, 2 et 3	151
Annexe C (informative) Montages recommandés pour les essais d'échauffement des éléments de remplacement étanches au liquide	154
Annexe D (informative) Types et dimensions des éléments de remplacement limiteurs de courant spécifiés dans les normes nationales existantes	156
Annexe E (normative) Exigences relatives à certains types d'éléments de remplacement destinés à être utilisés sous des températures environnantes supérieures à 40 °C	160
E.1 Types d'éléments de remplacement concernés par la présente annexe	160
E.1.1 Généralités	160
E.1.2 Types d'éléments de remplacement concernés	160
E.1.3 Eléments de remplacement non concernés	160
E.1.4 Introduction	160
E.2 Définitions	161
E.3 Valeurs assignées privilégiées de TAM	161
E.4 Conditions de service spécifiques	161
E.5 Exigences d'essais de coupure supplémentaires	161
E.5.1 Règles d'essai	161
E.5.2 Procédure d'essai	162
E.5.3 Suite d'essais 3 des fusibles à coupure intégrale	163
E.6 Fusible à coupure intégrale: détermination du courant I_3	163
Annexe F (informative) Critères pour déterminer la validité des essais I_t	165
F.1 Introduction	165
F.2 Processus de coupure	165
Bibliographie	167
Figure 1 – Terminologie	91
Figure 2 – Tensions de coupure admissibles pour les éléments de remplacement présentant un faible courant assigné (Tableau 8)	103
Figure 3 – Différentes étapes de la course du percuteur	106
Figure 4 – Représentation d'une TTR spécifiée par un tracé de référence à deux paramètres et par un segment de droite définissant un retard	121
Figure 5 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à deux paramètres et répondant aux conditions imposées pour l'essai de type	122
Figure 6 – Essais de coupure – Disposition de l'équipement	126
Figure 7 – Essais de coupure – Schéma type pour les suites d'essais 1 et 2	127
Figure 8 – Essais de coupure – Schéma type pour la suite d'essais 3	127
Figure 9 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes pour la suite d'essais 1	129
Figure 10 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes de la suite d'essais 2 (traces d'étalonnage comme indiquées en a) de la Figure 9)	130
Figure 11 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes pour la suite d'essais 3	130

Figure 12 – Séquence d'essais pour applications d'appareillage	143
Figure 13 – Séquence d'essais pour applications de type transformateur	144
Figure 14 – Séquence d'essais de la série a) pour applications de type transformateur	145
Figure 15 – Séquence d'essais de la série b) pour applications de type transformateur	146
Figure A.1 – Exemple d'un tracé de référence à deux paramètres pour une TTR dont la partie initiale présente une concavité vers la gauche	150
Figure A.2 – Exemple d'un tracé de référence à deux paramètres pour une TTR exponentielle	150
Figure C.1 – Cuve d'essai pour essais d'échauffement des fusibles immergés dans un liquide	154
Figure C.2 – Détail de la fixation de l'élément de remplacement dans la cuve	155
Tableau 1 – Facteurs de correction selon l'altitude – Tenue diélectrique	95
Tableau 2 – Facteurs de correction selon l'altitude – Capacité de conduire le courant	96
Tableau 3 – Tensions assignées	97
Tableau 4 – Niveaux d'isolement assigné du socle – Série I	99
Tableau 5 – Niveaux d'isolement assigné du socle – Série II	99
Tableau 6 – Limites de température et d'échauffement des pièces et des matériaux	101
Tableau 7 – Tensions de coupure maximales admissibles	102
Tableau 8 – Tensions de coupure maximales admissibles pour certains éléments de remplacement présentant un faible courant assigné	102
Tableau 9 – Caractéristiques mécaniques du percuteur	106
Tableau 10 – Branchement électrique au circuit d'essai – Section des conducteurs	114
Tableau 11 – Essais de coupure – Paramètres	119
Tableau 12 – Valeurs normalisées de la TTR assignée pour I_1 – Tensions assignées de la série I	123
Tableau 13 – Valeurs normalisées de la TTR assignée pour I_1 – Tensions assignées de la série II	123
Tableau 14 – TTR pour la suite d'essais 2 – Tensions assignées de la série I	124
Tableau 15 – TTR pour la suite d'essais 2 – Tensions assignées de la série II	125
Tableau 16 – Exigences d'essais de coupure pour les éléments de remplacement d'une série homogène	133

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FUSIBLES À HAUTE TENSION –

Partie 1: Fusibles limiteurs de courant

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 60282-1 a été établie par le sous-comité 32A: Coupe-circuits à fusibles à haute tension, du comité d'études 32 de l'IEC: Coupe-circuits à fusibles.

Cette huitième édition annule et remplace la septième édition parue en 2009.

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

- des informations supplémentaires concernant les percuteurs thermiques;
- la division des valeurs assignées, des caractéristiques et des essais de type en un groupe qui s'applique à tous les fusibles et en un groupe qui s'applique à des types particuliers d'éléments de remplacement et des applications;

- le réglage des tensions de la Série II et les essais pour satisfaire aux tensions réseaux normalisées actuelles et aux applications d'Amérique du Nord;
- la clarification des exigences pour les éléments de remplacement utilisés avec des températures environnantes supérieures à 40 °C;
- et la clarification d'exigences homogènes pour les éléments de remplacement contenant un élément.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
32A/347/FDIS	32A/349/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60282, publiées sous le titre général *Fusibles à haute tension*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

FUSIBLES À HAUTE TENSION –

Partie 1: Fusibles limiteurs de courant

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60282 s'applique à tous les types de fusibles à haute tension limiteurs de courant destinés à être utilisés à l'extérieur ou à l'intérieur sur des réseaux à courant alternatif 50 Hz et 60 Hz et dont les tensions assignées sont supérieures à 1 000 V.

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 60060-1:2010, *Technique des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

IEC 60071-1, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

IEC 60549, *Coupe-circuit à fusibles haute tension destinés à la protection externe des condensateurs shunt*

IEC 60644, *Spécification relative aux éléments de remplacement à haute tension destinés à des circuits comprenant des moteurs*

IEC 62271-105, *Appareillage à haute tension – Partie 105: Combinés interrupteurs-fusibles pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et jusqu'à 52 kV inclus*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions 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 Caractéristiques électriques

3.1.1

valeur assignée

valeur d'une grandeur, utilisée à des fins de spécification, correspondant à un ensemble spécifié de conditions de fonctionnement d'un composant, d'un dispositif, d'un matériel ou d'un système

Note 1 à l'article: Exemples de valeurs assignées généralement indiquées pour les fusibles: courant, tension et pouvoir de coupure.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-35, modifié – ajout de "utilisée à des fins de spécification" et de "système", suppression de "fixée, généralement par le constructeur".]

3.1.2

caractéristiques assignées

ensemble des valeurs assignées et des conditions de fonctionnement

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-36]

3.1.3

courant présumé (d'un circuit et relatif à un fusible)

courant qui circulerait dans le circuit si le fusible était remplacé par un conducteur d'impédance négligeable

Note 1 à l'article: Voir en 7.6.2.1 et 7.6.2.2 la méthode à employer pour évaluer et pour exprimer le courant présumé.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-01, modifié – suppression de "à un appareil de connexion ou", et de "chaque pôle de l'appareil de connexion ou" et de "doit être spécifiée dans les publications particulières" et ajout de "voir en 7.6.2.1 et 7.6.2.2".]

3.1.4

valeur de crête du courant présumé

valeur de crête d'un courant présumé pendant la période transitoire qui suit son établissement

Note 1 à l'article: La définition implique que le courant est établi par un appareil de connexion idéal, c'est-à-dire passant instantanément d'une impédance infinie à une impédance nulle. Pour un circuit ayant plusieurs voies, par exemple un circuit polyphasé, il est entendu en outre que le courant est établi simultanément dans tous les pôles même si seul le courant est considéré dans un seul pôle.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-02]

3.1.5

courant coupé présumé

valeur efficace de la composante alternative du courant présumé, évaluée à un temps spécifié

Note 1 à l'article: Ce temps spécifié est indiqué en 7.6.2.3.

3.1.6

pouvoir de coupure

valeur de courant présumé qu'un élément de remplacement peut couper sous une tension donnée et dans des conditions prescrites d'emploi et de comportement

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-08, modifié – remplacement de "appareil de connexion ou un fusible" par "élément de remplacement", et de "est capable d'interrompre" par "peut couper" et suppression des notes à l'article.]

3.1.7

courant coupé limité

valeur instantanée maximale du courant atteinte au cours de la coupure effectuée par un fusible

Note 1 à l'article: Cette notion est d'importance particulière si le fusible fonctionne de telle manière que la valeur de crête du courant présumé du circuit n'est pas atteinte en raison d'un effet limiteur de courant.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-12, modifié – suppression de "un appareil de connexion ou" et ajout de "en raison d'un effet limiteur de courant" à la Note 1 à l'article.]

3.1.8

durée de préarc

durée de fusion

intervalle de temps qui s'écoule à partir du moment où commence à circuler un courant suffisant pour provoquer une coupure dans l'élément ou les éléments fusibles jusqu'à l'instant où un arc commence à se former

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-21]

3.1.9

durée d'arc

intervalle de temps entre l'instant de début de l'arc sur un fusible et l'instant de l'extinction finale de l'arc sur ce fusible

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-37, modifié – suppression des références à "pôle".]

3.1.10

durée de fonctionnement

somme de la durée de préarc et de la durée d'arc

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-22]

3.1.11

I^2t

intégrale de Joule

intégrale du carré du courant pour un intervalle de temps donné $t_0 - t_1$

$$I^2t = \int_{t_0}^{t_1} i^2 dt$$

Note 1 à l'article: L' I^2t de préarc est l'intégrale I^2t pour la durée de préarc du fusible.

Note 2 à l'article: L' I^2t de fonctionnement est l'intégrale I^2t pour la durée de fonctionnement du fusible.

Note 3 à l'article: L'énergie en joules libérée dans une portion ayant une résistance de 1Ω d'un circuit protégé par un fusible est égale à la valeur de I^2t de fonctionnement exprimée en $A^2 \times s$.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-23]

3.1.12

durée virtuelle

valeur de l'intégrale de Joule divisée par le carré de la valeur du courant électrique présumé

Note 1 à l'article: Les valeurs des durées virtuelles généralement indiquées pour un élément de remplacement se rapportent à la durée de préarc et à la durée de fonctionnement.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-37]

3.1.13

caractéristique temps-courant

courbe donnant la durée virtuelle, par exemple durée de préarc ou durée de fonctionnement, en fonction du courant présumé dans des conditions déterminées de fonctionnement

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-13, modifié – ajout de "virtuelle".]

3.1.14

caractéristique de courant coupé limité

courbe donnant, pour des conditions déterminées de fonctionnement, le courant coupé limité en fonction du courant efficace présumé

Note 1 à l'article: Les valeurs du courant coupé limité sont les valeurs maximales quel que soit le degré d'asymétrie.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-14, modifié – ajout de "efficace" et suppression de la référence aux courants continus dans la note à l'article.]

3.1.15

tension de rétablissement

tension qui apparaît entre les bornes d'un fusible après l'interruption du courant

Note 1 à l'article: Cette tension peut être considérée durant deux intervalles de temps consécutifs, l'un durant lequel existe une tension transitoire, suivi par un second intervalle durant lequel la tension de rétablissement à fréquence industrielle existe seule.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-25, modifié – suppression de "d'un appareil de connexion ou" dans la définition, et de "ou en régime établi" dans la note à l'article.]

3.1.16

tension transitoire de rétablissement

TTR

tension de rétablissement pendant le temps où elle présente un caractère transitoire appréciable

Note 1 à l'article: La tension transitoire de rétablissement peut être oscillatoire ou non oscillatoire ou être une combinaison de celles-ci selon les caractéristiques du circuit et du fusible. Elle tient compte de la variation du potentiel du point neutre du circuit polyphasé.

Note 2 à l'article: Sauf spécification contraire, la tension transitoire de rétablissement pour les circuits triphasés est la tension aux bornes du premier fusible qui coupe, car cette tension est généralement plus élevée que celle qui apparaît aux bornes de chacun des deux autres fusibles.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-26, modifié – remplacement de "appareil de connexion" et de "pôle" par "fusible" dans les notes à l'article.]

3.1.17

tension de rétablissement à fréquence industrielle

tension de rétablissement après la disparition des phénomènes transitoires de tension

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-27]

3.1.18

tension transitoire de rétablissement présumée (d'un circuit)

tension transitoire de rétablissement qui suit la coupure du courant présumé symétrique par un appareil de connexion idéal

Note 1 à l'article: La définition implique que le fusible, pour lequel la tension transitoire de rétablissement présumée est recherchée, est remplacé par un appareil de connexion idéal, c'est-à-dire dont l'impédance passe instantanément de la valeur zéro à la valeur infinie à l'instant du zéro de courant, c'est-à-dire au zéro "naturel". Pour des circuits ayant plusieurs voies, par exemple un circuit polyphasé, il est supposé en outre que la coupure du courant par l'appareil de connexion idéal n'a lieu que sur le pôle considéré.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-17-29, modifié – suppression de "l'appareil de connexion ou" dans la note à l'article.]

3.1.19

tension de coupure

valeur maximale instantanée de tension qui apparaît aux bornes d'un fusible lors de son fonctionnement

Note 1 à l'article: La tension de coupure peut être la tension d'arc ou peut se produire en même temps que la tension transitoire de rétablissement.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-31]

3.1.20

courant minimal de coupure

valeur minimale de courant présumé qu'un élément de remplacement peut couper sous une tension donnée et dans des conditions prescrites d'emploi et de comportement

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-29]

3.1.21

puissance dissipée (dans un élément de remplacement)

puissance dissipée dans un élément de remplacement traversé par un courant électrique de valeur donnée dans des conditions prescrites d'emploi et de comportement

Note 1 à l'article: Les conditions prescrites d'emploi et de comportement comprennent généralement une valeur efficace constante du courant électrique après avoir atteint un régime établi de température.

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-38]

3.1.22

courant maximal de coupure

valeur maximale de courant présumé qu'un élément de remplacement peut couper sous une tension donnée et dans des conditions prescrites d'emploi et de comportement

3.1.23

tension de choc de foudre

tension de choc appliquée au cours d'essais diélectriques, de forme spécifiée, de durée conventionnelle de front de l'ordre de 1 μ s et de durée jusqu'à la mi-valeur de l'ordre de 50 μ s

Note 1 à l'article: La tension de choc de foudre se définit en énonçant successivement les deux nombres qui mesurent des durées en microsecondes; en particulier, la tension de choc de foudre normalisée est 1,2/50 μ s.

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 641-03-28]

3.1.24

tension de tenue assignée aux chocs de foudre

valeur de la tension de crête maximale admissible spécifiée d'une onde de tension de choc de foudre, qui est attribuée à l'appareil en fonction de sa capacité à supporter une tension de choc de foudre

Note 1 à l'article: Le terme autrefois utilisé est "niveau d'isolement aux chocs de base" (Basic Impulse Insulation Level (BIL)) (toujours d'usage courant).

3.2 Fusibles et leurs éléments constitutifs

3.2.1

fusible

appareil dont la fonction est d'ouvrir par la fusion d'un ou de plusieurs de ses éléments conçus et calibrés à cet effet le circuit auquel il est connecté en coupant le courant lorsque celui-ci dépasse pendant un temps suffisant une valeur donnée. Le fusible comprend toutes les parties qui constituent l'appareil complet

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-01, modifié – suppression du terme "coupe-circuit à fusible", remplacement de "dans lequel il est inséré" par "auquel il est connecté".]

3.2.2

borne

partie conductrice d'un fusible prévue pour une connexion électrique avec des circuits extérieurs

Note 1 à l'article: Les bornes peuvent être distinguées selon le type de circuit auquel elles appartiennent (par exemple borne principale, borne de terre, etc.), mais aussi selon leur conception (par exemple borne à vis, borne à fiche, etc.).

3.2.3**socle**

partie fixe d'un fusible munie de contacts et de bornes

Note 1 à l'article: Le socle comprend tous les éléments assurant l'isolement (voir Figure 1).

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-02, modifié – ajout de la Note 1 à l'article.]

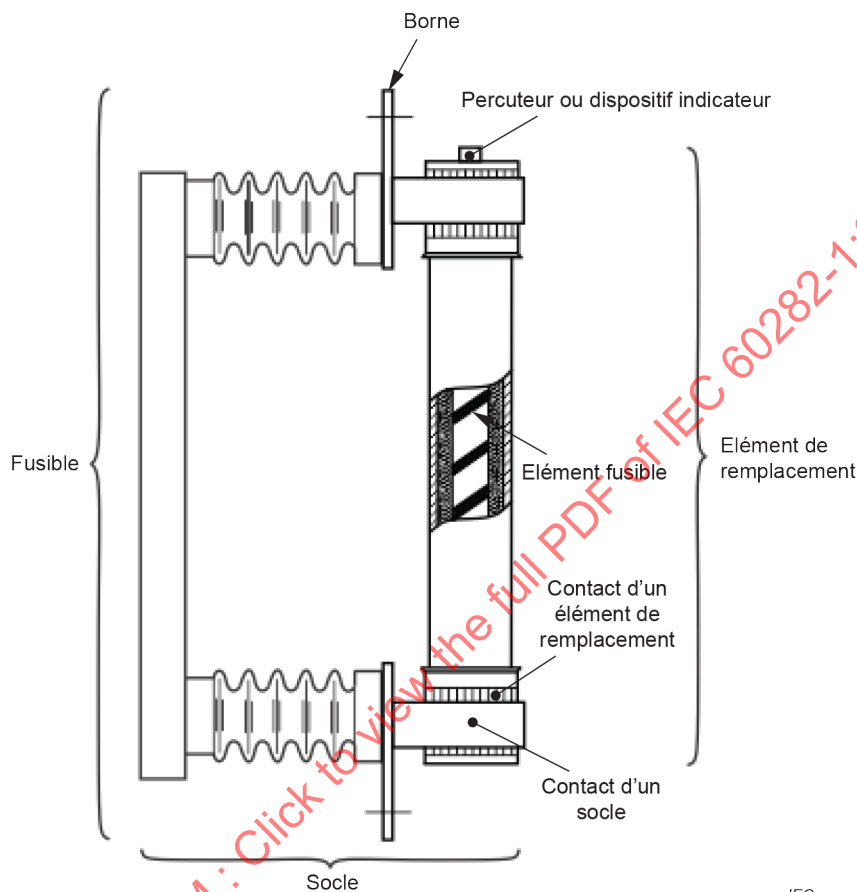


Figure 1 – Terminologie

3.2.4**contact d'un socle**

pièce de contact d'un socle destinée à être mise en contact avec le contact d'un élément de remplacement (voir Figure 1)

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-03, modifié – remplacement de "une partie correspondante du fusible" par "le contact d'un élément de remplacement (voir Figure 1)".]

3.2.5**élément de remplacement**

partie d'un fusible comportant le (les) élément(s) fusible(s) et destinée à être remplacée après fonctionnement du fusible (voir Figure 1)

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-09, modifié – ajout de la mention "(voir Figure 1)".]

3.2.6**contact d'un élément de remplacement**

pièce de contact d'un élément de remplacement destinée à être mise en contact avec le contact d'un socle (voir Figure 1)

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-04, modifié – remplacement de "une partie correspondante du fusible" par "le contact d'un socle (voir Figure 1)".]

3.2.7

élément fusible

partie de l'élément de remplacement destinée à fondre sous l'action d'un courant dépassant une valeur déterminée pendant une durée déterminée (voir Figure 1)

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-08, modifié – ajout de la mention "(voir Figure 1)".]

3.2.8

dispositif indicateur

partie d'un fusible destinée à indiquer si celui-ci a fonctionné (voir Figure 1)

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-17, modifié – ajout de la mention "(voir Figure 1)".]

3.2.9

percuteur

dispositif mécanique faisant partie d'un élément de remplacement qui, lors du fonctionnement du fusible, libère l'énergie requise pour faire fonctionner d'autres appareils, des dispositifs indicateurs ou pour effectuer un verrouillage

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-18]

3.2.10

percuteur thermique

dispositif mécanique faisant partie d'un élément de remplacement qui, lorsqu'il est libéré par le déclenchement du fusible ou des conditions thermiques spécifiques dans l'élément de remplacement, libère l'énergie exigée pour faire fonctionner d'autres appareils, des dispositifs indicateurs ou pour effectuer un verrouillage

3.3 Termes complémentaires

3.3.1

fusible limiteur de courant

fusible qui, pendant et par son fonctionnement dans une zone de courant spécifiée, limite le courant à une valeur nettement inférieure à la valeur de crête du courant présumé

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-10, modifié – remplacement de "élément de remplacement" par "fusible".]

3.3.2

classes

définitions des fusibles limiteurs de courant selon la zone dans laquelle ils peuvent être utilisés, réparties comme suit:

- fusibles associés;
- fusibles à usage général;
- fusibles à coupure intégrale.

Voir l'IEC TR 62655:2013, 4.2.2

3.3.3

fusible associé

fusible limiteur de courant capable d'interrompre, dans les conditions d'utilisation et de comportement spécifiées, tous les courants compris entre le courant maximal de coupure assigné et le courant minimal de coupure assigné

3.3.4

fusible à usage général

fusible limiteur de courant capable d'interrompre, dans les conditions d'utilisation et de comportement spécifiées, tous les courants compris entre le courant maximal de coupure assigné et une valeur de niveau faible égale au courant provoquant la fusion de l'élément fusible en 1 h

3.3.5

fusible à coupure intégrale

fusible limiteur de courant capable d'interrompre, dans des conditions d'utilisation et de comportement spécifiées, tous les courants provoquant la fusion de son ou de ses éléments fusibles jusqu'à son courant maximal de coupure assigné

Voir 7.6.1.1, suite d'essais 3

3.3.6

distance de sectionnement (pour un socle)

plus courte distance entre les contacts du socle ou toutes parties conductrices qui leur sont raccordées, mesurée sur un fusible dont l'élément de remplacement n'est plus en place

[SOURCE: IEC 60050-441:2000, 441-18-06, modifié – suppression de "ou le porte-élément de remplacement".]

3.3.7

série homogène (d'éléments de remplacement)

série d'éléments de remplacement dont chacun ne diffère de l'autre que par des caractéristiques telles que, pour un essai donné, l'essai d'un ou d'un nombre réduit d'éléments de remplacement déterminés de la série peut être considéré comme représentatif pour tous les éléments de remplacement de la série

Voir 7.6.4.1

[SOURCE: IEC 60050-441, 441-18-34, modifié – suppression de la note à l'article, ajout de "Voir 7.6.4.1".]

3.3.8

isolation externe

distances dans l'air atmosphérique et sur les surfaces des isolations solides d'un matériel en contact avec l'air atmosphérique, qui sont soumises aux contraintes diélectriques et à l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres conditions environnementales provenant du site

Note 1 à l'article: Des exemples de conditions environnementales sont la pollution, l'humidité, les animaux, etc.

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-02]

3.3.9

isolation autorégénératrice

isolation qui retrouve intégralement ses propriétés isolantes en un intervalle de temps court après une décharge disruptive

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-04]

3.3.10

élément de remplacement dit "organique"

élément de remplacement qui contient une part importante de matière organique (par exemple à base de carbone) qui pourrait être la cause possible d'un courant de fuite excessif à la suite du fonctionnement du fusible

Note 1 à l'article: Si le fabricant détermine que l'emplacement et la quantité de matière organique ou autres dans la conception sont susceptibles de conduire à un courant de fuite excessif après le fonctionnement et par suite aboutir à une non-coupure, le fabricant doit désigner l'élément de remplacement comme "organique".

3.3.11

température environnante

température du gaz ou du liquide au plus près de l'élément de remplacement

3.3.12

fusible sous enveloppe ou puits

FEP

enveloppe fournie avec un ou plusieurs éléments de remplacement en tant qu'ensemble complet et dont les données d'application couvrant le(s) élément(s) de remplacement et l'enveloppe spécifiques sont disponibles

Note 1 à l'article: En fonction de l'application particulière, l'élément ou les éléments de remplacement peuvent ou non être aussi montés dans un puits qui est alors assemblé dans l'enveloppe.

3.3.13

puits

boîtier de fusible

petit fusible sous enveloppe ou puits constitué d'un boîtier étroit qui supporte un élément de remplacement et réduit la circulation de l'air, du gaz ou du liquide qui l'entoure

4 Conditions normales et spéciales de service

4.1 Conditions normales de service

Les fusibles conformes au présent document sont destinés à être utilisés dans les conditions suivantes.

- a) La température maximale de l'air ambiant est de 40 °C et sa valeur moyenne mesurée sur une période de 24 h ne dépasse pas 35 °C.

La température minimale de l'air ambiant est de –25 °C.

NOTE 1 Les caractéristiques temps-courant des fusibles sont modifiées entre les températures minimale et maximale.

- b) L'altitude ne dépasse pas 1 000 m.

- c) L'air ambiant ne contient pas de façon excessive (ou anormale) de poussière, de fumées, de gaz corrosifs ou inflammables, de vapeurs ou de sel.

- d) Pour les installations à l'intérieur, les conditions d'humidité sont à l'étude, mais, en attendant, les chiffres suivants peuvent être utilisés comme un guide:

- la valeur moyenne de l'humidité relative, mesurée sur une période de 24 h, n'excède pas 95 %;
- la valeur moyenne de la pression de vapeur, sur une période de 24 h, n'excède pas 22 hPa;
- la valeur moyenne de l'humidité relative, sur une période d'un mois, n'excède pas 90 %;
- la valeur moyenne de la pression de vapeur d'eau, sur une période d'un mois, n'excède pas 18 hPa.

Dans ces conditions, des condensations peuvent occasionnellement se produire.

NOTE 2 La condensation est à prévoir dans les lieux où de brusques variations de température risquent de se produire en période d'humidité élevée.

NOTE 3 Pour supporter les effets d'une humidité élevée et d'une condensation occasionnelle, tels que le claquage de l'isolation ou la corrosion des parties métalliques, des fusibles pour l'intérieur, prévus pour de telles conditions et soumis à essai en conséquence, peuvent être utilisés, ou en variante des fusibles pour l'extérieur.

NOTE 4 La condensation peut être évitée par une conception spéciale du bâtiment ou de l'enveloppe, par une ventilation et un chauffage appropriés du poste ou par l'utilisation de déshumidificateurs.

- e) Les vibrations dues à des causes externes aux fusibles ou à des tremblements de terre sont négligeables.

En outre, pour les installations à l'extérieur:

- f) il convient de tenir compte de la présence de condensation ou de pluie et des variations rapides de température;
- g) la pression du vent n'excède pas 700 Pa (correspondant à une vitesse de vent de 34 m/s);
- h) le rayonnement solaire ne dépasse pas 1,0 kW/m².

Les applications impliquant des éléments de remplacement dans des enveloppes (fusible sous enveloppe ou puits) satisfont généralement aux exigences des "conditions normales de service", car la température ambiante (la température à l'extérieur de l'enveloppe) est conforme aux températures indiquées en a) du présent paragraphe. Cependant, dans une enveloppe, des températures environnantes (voir 3.3.11) supérieures à 40 °C sont prévisibles et des considérations supplémentaires peuvent s'appliquer concernant l'attribution d'une capacité de conduire le courant au dispositif (voir 5.3.6, 5.3.7, 5.2.7.2 et l'IEC TR 62655:2013).

Pour certains éléments de remplacement et applications en enveloppe, des essais supplémentaires, décrits dans l'Annexe E du présent document, peuvent être exigés.

4.2 Conditions spéciales de service

4.2.1 Généralités

Par accord entre le fabricant et l'utilisateur, les fusibles à haute tension peuvent être utilisés dans des conditions différant des conditions normales de service indiquées en 4.1. Pour toute condition spéciale de service, le fabricant doit être consulté.

4.2.2 Altitude

Pour les installations situées à une altitude supérieure à 1 000 m, le niveau de tenue de l'isolation externe assigné exigé doit être déterminé en multipliant les niveaux d'isolation nécessaires à l'emplacement du service par un facteur de correction selon l'altitude, K_a (> 1) donné dans la colonne (2) du Tableau 1. Les tensions de tenue diélectrique d'un fusible à une altitude donnée peuvent être déterminées en multipliant ses niveaux de tenue de l'isolation assignés par $1/K_a$ (≤ 1), donné dans la colonne (3) du Tableau 1.

Pour les altitudes comprises entre 1 000 m et 1 500 m et entre 1 500 m et 3 000 m, les facteurs de correction peuvent être obtenus par interpolation linéaire entre les valeurs indiquées dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Facteurs de correction selon l'altitude – Tenue diélectrique

Altitude maximale m (1)	Facteur de correction des tensions de tenue (K_a) (2)	Facteur de correction appliqué aux tensions de tenue assignées ($1/K_a$) (3)
1 000	1,0	1,0
1 500	1,05	0,95
3 000	1,25	0,80

Lorsque les caractéristiques diélectriques sont identiques quelle que soit l'altitude, aucune précaution particulière n'est à prendre.

La capacité de conduire le courant d'un fusible peut être déterminée pour des altitudes supérieures à 1 000 m en appliquant les facteurs appropriés indiqués dans le Tableau 2, colonne (2), au courant assigné ou au courant permanent admissible du fusible.

Pour les altitudes comprises entre 1 000 m et 1 500 m, et entre 1 500 m et 3 000 m, les facteurs de correction peuvent être obtenus par interpolation linéaire entre les valeurs indiquées dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Facteurs de correction selon l'altitude – Capacité de conduire le courant

Altitude maximale m (1)	Facteur de correction pour la capacité de conduire le courant (2)
1 000	1,0
1 500	0,99
3 000	0,96

4.3 Comportement dans l'environnement

Les fusibles conformes au présent document sont des dispositifs inertes en service normal. Le paragraphe 6.1.3 exige également qu'aucune émission externe significative ne se produise. Ce sont donc des dispositifs non polluants en service et en fonctionnement.

5 Valeurs assignées et caractéristiques

5.1 Généralités

- a) Valeurs assignées du socle
 - 1) Tension assignée (5.2.1)
 - 2) Courant assigné (5.2.2)
 - 3) Niveau d'isolement assigné (tensions de tenue à fréquence industrielle, à sec, sous l'effet de la pluie et aux chocs de foudre) (5.2.4)
- b) Valeurs assignées de l'élément de remplacement
 - 1) Tension assignée (5.2.1)
 - 2) Courant assigné (5.2.3)
 - 3) Courant maximal de coupure assigné (5.2.5.1)
 - 4) Courant minimal de coupure assigné pour fusibles associés (5.2.5.2)
 - 5) Fréquence assignée (5.2.6)
- c) Caractéristiques du fusible
 - 1) Limites d'échauffement (5.2.7)
- d) Caractéristiques de l'élément de remplacement
 - 1) Classe (3.3.2 et 5.2.5.2)
 - 2) Tensions de coupure (5.2.8)
 - 3) Caractéristiques temps-courant (5.2.9)
 - 4) Caractéristiques d'amplitude du courant coupé limité (5.2.10)
 - 5) Caractéristiques I^2t (5.2.11)
 - 6) Puissance dissipée (5.2.12)
- e) Valeurs assignées et caractéristiques de types d'éléments de remplacement particuliers et applications

- 1) Caractéristiques mécaniques du percuteur (5.3.4.3)
- 2) Facteur K (pour applications d'éléments de remplacement pour circuits comprenant des moteurs) (voir IEC 60644)
- 3) Température d'application maximale (voir Annexe E)
- 4) Courant permanent admissible (5.3.6)
- 5) Courant d'enveloppe maximal (5.3.7)

5.2 Valeurs assignées et caractéristiques qui s'appliquent à tous les fusibles

5.2.1 Tension assignée (U_r)

C'est la tension qui sert à désigner le socle ou l'élément de remplacement et d'après laquelle sont déterminées les conditions d'essai.

NOTE Voir 6.1.2 pour des détails sur la relation entre la tension assignée d'un fusible et la tension réseau à laquelle il peut être utilisé, basés sur les hypothèses du réseau et les spécifications utilisées pour les essais de coupure de l'élément de remplacement.

Il convient que la tension assignée d'un fusible soit choisie parmi les tensions indiquées dans le Tableau 3. Les deux ensembles de valeurs, la série I et la série II sont basés sur les pratiques courantes dans différentes parties du monde (la série II est basée sur les pratiques d'Amérique du Nord).

Tableau 3 – Tensions assignées

Série I kV	Série II kV
3,6	2,8
7,2	5,5
12	8,3
17,5	15,5
24	17,2
36	23
40,5	27
52	38
72,5	48,3
	72,5

5.2.2 Courant assigné d'un socle

Courant attribué à un socle qu'un socle neuf et propre peut supporter d'une façon continue sans que les échauffements dépassent les valeurs spécifiées dans les conditions prescrites. Ces conditions consistent en ce que le socle soit équipé d'un élément de remplacement destiné à être utilisé dans ce type de socle et raccordé au circuit au moyen de conducteurs ayant des dimensions et des longueurs spécifiées, et pour une température de l'air ambiant ne dépassant pas 40 °C.

Il convient que le courant assigné d'un socle soit choisi parmi les valeurs suivantes:

10 A, 25 A, 63 A, 100 A, 200 A, 400 A, 630 A, 1 000 A.

5.2.3 Courant assigné d'un élément de remplacement (I_r)

Courant attribué à un élément de remplacement qu'un élément de remplacement neuf et propre peut supporter d'une façon continue sans que les échauffements dépassent les valeurs spécifiées, lorsqu'il est monté sur un socle spécifié par le fabricant, raccordé au circuit au moyen de conducteurs ayant des dimensions et des longueurs spécifiées, et pour une température de l'air ambiant ne dépassant pas 40 °C (voir l'IEC TR 62655:2013).

Il convient de choisir le courant assigné de l'élément de remplacement, en ampères, parmi les valeurs de la série R10. Pour les cas spéciaux, le courant assigné de l'élément de remplacement peut être choisi parmi les valeurs supplémentaires de la série R20.

NOTE La série R10 comprend les nombres 1, 1,25, 1,6, 2, 2,5, 3,15, 4, 5, 6,3, 8 et leurs multiples de 10. La série R20 comprend les nombres 1, 1,12, 1,25, 1,40, 1,6, 1,8, 2, 2,24, 2,5, 2,8, 3,15, 3,55, 4, 4,5, 5, 5,6, 6,3, 7,1, 8, 9 et leurs multiples de 10.

5.2.4 Niveau d'isolement assigné (d'un socle)

Ce sont les valeurs de tension (aussi bien à fréquence industrielle qu'aux ondes de choc) qui caractérisent l'isolement du socle en ce qui concerne son aptitude à supporter les contraintes diélectriques (voir l'IEC TR 62655:2013, 4.5) dans des conditions normales de service définies en 4.1, à des altitudes comprises entre le niveau de la mer et 1 000 m.

Deux niveaux d'isolement sont acceptables pour un socle selon la pratique en Europe. Ils sont dénommés "Liste 1" et "Liste 2" et se rapportent à différentes sévérités d'application et aux valeurs de tension d'essai correspondantes pour les essais diélectriques (voir l'IEC TR 62655:2013, 4.5.2).

Il convient de choisir le niveau d'isolement assigné d'un socle dans les Tableau 4 et Tableau 5.

- Le Tableau 4 est basé sur la pratique en Europe et les conditions normalisées de référence pour la température, la pression et l'humidité sont respectivement 20 °C, 101,3 kPa et 11 g/m³ d'eau.
- Le Tableau 5 est basé sur la pratique aux Etats-Unis et au Canada et les conditions normalisées de référence pour la température, la pression et l'humidité sont respectivement 25 °C, 101,3 kPa et 15 g/m³ d'eau.

Il doit être précisé si le fusible convient pour une utilisation à l'intérieur ou à l'extérieur.

Tableau 4 – Niveaux d'isolement assigné du socle – Série I

Tension assignée du fusible kV	Tension de tenue assignée aux chocs de foudre (polarités négative et positive)				Tension de tenue assignée à fréquence industrielle durant 1 min	
	Liste 1 (valeur de crête) kV		Liste 2 (valeur de crête) kV		(à sec et sous pluie) (valeur efficace) kV	
	A la masse et entre pôles	Sur la distance de sectionnement du socle ^a	A la masse et entre pôles	Sur la distance de sectionnement du socle ^a	A la masse et entre pôles	Sur la distance de sectionnement du socle ^a
3,6	20	23	40	46	10	12
7,2	40	46	60	70	20	23
12	60	70	75	85	28	32
17,5	75	85	95	110	38	45
24	95	110	125	145	50	60
36	145	165	170	195	70	80
40,5	180	200	190	220	80	95
52	250	290	250	290	95	110
72,5	325	375	325	375	140	160

^a Il convient de spécifier un niveau d'isolement pour la distance de sectionnement uniquement pour les socles pour lesquels des propriétés de sectionnement sont spécifiées.

Tableau 5 – Niveaux d'isolement assigné du socle – Série II

Tension assignée du fusible kV	Tension de tenue assignée aux chocs de foudre (polarités positive et négative) (valeur de crête) kV				Tension de tenue assignée à fréquence industrielle (valeur efficace) kV					
	A la masse et entre pôles		Sur la distance de sectionnement du socle ^a		A la masse et entre pôles			Sur la distance de sectionnement du socle ^a		
	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur 1 min à sec	Extérieur 1 min à sec	Extérieur 10 s sous pluie	Intérieur 1 min à sec	Extérieur 1 min à sec	Extérieur 10 s sous pluie
2,8	45	–	50	–	15	–	–	17	–	–
5,5	60	–	66	–	19	–	–	21	–	–
8,3	75	95	83	105	26	35	30	29	39	33
15,5 à 17,2	95	–	105	–	36	–	–	40	–	–
15,5 à 17,2	110	110	121	121	50	50	45	55	55	50
23 à 27	125	150	138	165	60	70	60	66	77	66
23 à 27	150	–	165	–	60	–	–	66	–	–
38	150	200	165	220	70	95	80	77	105	88
48,3	–	250	–	275	–	120	100	–	132	110
72,5	–	350	–	385	–	175	145	–	193	160

^a Il convient de spécifier un niveau d'isolement pour la distance de sectionnement uniquement pour les socles pour lesquels des propriétés de sectionnement sont spécifiées.

5.2.5 Pouvoir de coupure assigné

5.2.5.1 Courant maximal de coupure assigné (I_1)

Il convient que le courant maximal de coupure assigné d'un élément de remplacement, exprimé en kA, soit choisi parmi les valeurs de la série R10.

NOTE La série R10 comprend les nombres 1, 1,25, 1,6, 2, 2,5, 3,15, 4, 5, 6,3, 8 et leurs multiples de 10.

5.2.5.2 Courant minimal de coupure assigné et classe

Le fabricant doit indiquer la classe (voir 3.3.2) et, pour les fusibles associés, il doit aussi indiquer le courant minimal de coupure assigné. Dans le cas des fusibles à usage général, il peut aussi indiquer le courant minimal de coupure.

5.2.6 Fréquence assignée

Les valeurs normalisées de la fréquence assignée sont 50 Hz et 60 Hz. Il convient de noter que les fusibles sont normalement soumis à essai à 50 Hz ou à 60 Hz. Cependant, l'expérience montre que, alors que la même conception de fusible soumise à essai aux deux fréquences avec un courant provoquant une limitation du courant présente généralement des courants de crête légèrement plus élevés pour 60 Hz et des valeurs de fonctionnement I^2t légèrement supérieures pour 50 Hz, les fusibles ayant réussi tous les essais pour une fréquence sont appropriés pour l'autre fréquence.

5.2.7 Températures limites

5.2.7.1 Températures environnantes inférieures ou égales à 40 °C

Un élément de remplacement et un socle doivent être capables de supporter de façon continue leur courant assigné sans que les limites d'échauffement (au-dessus de la température ambiante) données dans le Tableau 6 soient dépassées et sans détérioration.

Lorsqu'un contact est établi entre des surfaces protégées de manières différentes, les températures et les échauffements admissibles doivent être considérés comme suit:

- a) pour les contacts boulonnés et les bornes, ceux de l'élément pour lequel le Tableau 6 autorise les valeurs les plus élevées;
- b) pour les contacts élastiques, ceux de l'élément pour lequel le Tableau 6 autorise les valeurs les plus basses.

5.2.7.2 Températures environnantes supérieures à 40 °C

Lorsqu'un élément de remplacement est dans une enveloppe (FEP) ou à une température ambiante élevée et que la température environnante de l'élément de remplacement ou du puits est supérieure à 40 °C, le fusible peut avoir un courant permanent admissible spécifié à une température environnante spécifiée. Un élément de remplacement et un socle doivent être capables de supporter un courant permanent admissible spécifié, à une température environnante spécifiée, de façon continue sans que les limites de température maximale données dans le Tableau 6 soient dépassées.

Lorsqu'il n'est pas possible de spécifier de courant permanent admissible (à des températures environnantes élevées et avec l'élément de remplacement dans un liquide), un courant d'enveloppe maximal (I_{fep}) peut être spécifié. Dans ce cas, les valeurs maximales de température indiquées dans le Tableau 6 peuvent être dépassées par accord entre le fabricant et l'utilisateur.

NOTE Pour les fusibles utilisés dans des enveloppes, voir l'IEC TR 62655:2013, 5.1.1.2 et l'Annexe A.

Tableau 6 – Limites de température et d'échauffement des pièces et des matériaux

Pièce ou matériau	Valeur maximale	
	Température °C	Echauffement K
A Contacts dans l'air:		
1 Contacts élastiques (cuivre ou alliage de cuivre)		
– nus	75	35
– recouverts d'argent ou de nickel	105	65
– recouverts d'étain	95	55
– recouverts d'autres métaux ^a		
2 Contacts boulonnés ou dispositifs équivalents (cuivre, alliage de cuivre et alliage d'aluminium)		
– nus	90	50
– recouverts d'étain	105	65
– recouverts d'argent ou de nickel	115	75
– recouverts d'autres métaux ^a		
B Contacts dans un liquide isolant (cuivre ou alliage de cuivre):		
1 Contacts élastiques		
– nus	80	40
– recouverts d'argent, d'étain ou de nickel	90	50
– recouverts d'autres métaux ^a	-	-
2 Contacts boulonnés		
– nus	100	60
– recouverts d'argent, d'étain ou de nickel	100	60
– recouverts d'autres métaux ^a	-	-
C Bornes boulonnées dans l'air:		
– nues	90	50
– recouvertes d'argent, d'étain ou de nickel	105	65
– recouvertes d'autres métaux ^a	-	-
D Pièces métalliques formant ressorts^b		
E Matériaux utilisés comme isolants et pièces métalliques en contact avec des isolants des classes suivantes^c:		
	90	50
	100	60
Classe Y (pour les matériaux non imprégnés)	120	80
Classe A (pour les matériaux immergés dans un liquide isolant) ^f	130	90
Classe E	155	115
Classe B	100	60
Classe F	120	80
Email: à base d'huile synthétique	180	140
Classe H		-
Autres classes ^d	90	50
F Liquide isolant pour applications d'appareillage^{e, f}	100	60
G Toute pièce métallique ou en matériau isolant en contact avec le liquide isolant à l'exception des contacts et des ressorts		
^a Si le fabricant utilise d'autres métaux de protection que ceux indiqués dans le Tableau 6, il convient de prendre en considération les propriétés de ces métaux. ^b Il convient que la température ou l'échauffement n'atteignent pas une valeur telle que l'élasticité du métal en soit modifiée. ^c Classes généralement conformes à l'IEC 60085. ^d Limitée seulement par l'exigence de ne pas provoquer de dommages aux pièces environnantes. ^e Mesuré à la partie supérieure du liquide. ^f Il convient de prêter une attention particulière aux questions de vaporisation et d'oxydation lorsqu'un liquide isolant de faible point d'éclair est utilisé. Les valeurs indiquées sont pour l'huile. Elles peuvent être dépassées pour les applications de type transformateur et/ou si des isolants synthétiques ou d'autres liquides appropriés sont utilisés (voir 8.3.4.3 et l'IEC 60076-7).		

5.2.8 Valeurs limites des tensions de coupure

Les valeurs des tensions de coupure pendant le fonctionnement pour toutes les suites d'essais ne doivent pas dépasser celles données dans les Tableau 7 et Tableau 8.

Sur demande, le fabricant doit indiquer la valeur maximale des tensions de coupure telles qu'elles sont mesurées lors des essais de coupure (voir 7.6).

Tableau 7 – Tensions de coupure maximales admissibles

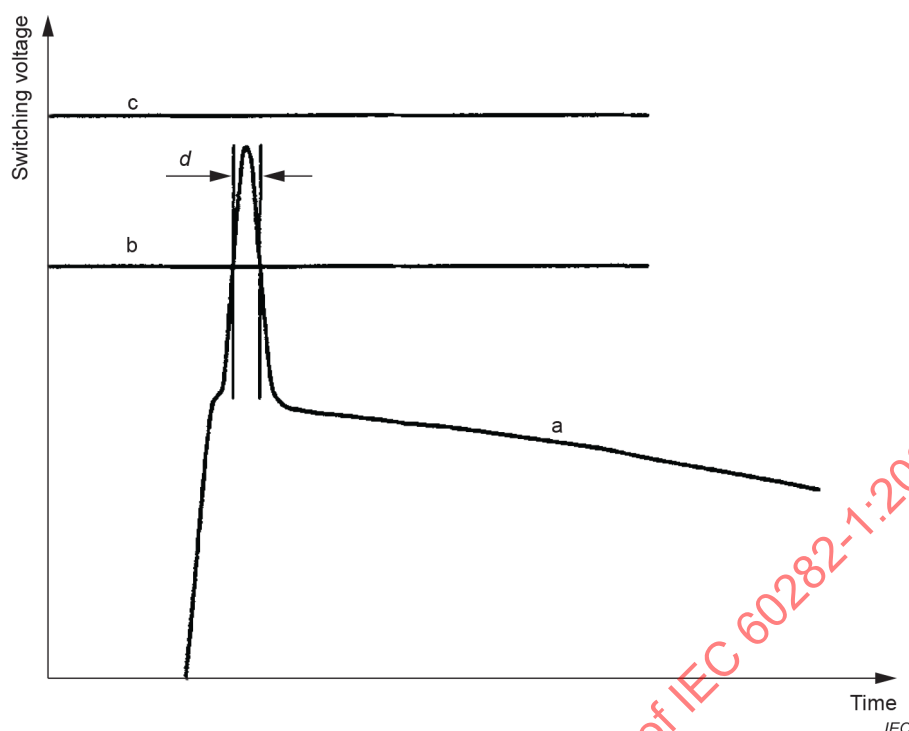
Série I		Série II	
Tension assignée	Tension de coupure maximale	Tension assignée	Tension de coupure maximale
kV	kV	kV	kV
3,6	12	2,8	9
7,2	23	5,5	18
12	38	8,3	26
17,5	55	15,5 à 17,2	49
24	75	23	72
36	112	27	84
40,5	126	38	119
52	162	48,3	150
72,5	226	72,5	226

Tableau 8 – Tensions de coupure maximales admissibles pour certains éléments de remplacement présentant un faible courant assigné

Série I jusqu'à 12,5 A inclus		Série II jusqu'à 12 A inclus	
Tension assignée	Tension de coupure maximale ^{a, b}	Tension assignée	Tension de coupure maximale ^a
kV	kV	kV	kV
3,6	26	2,8	13
7,2	36	5,5	25
12	50	8,3	38
17,5	63	15,5 à 17,2	70
24	85	23	105
36	120	27	123
		38	173

^a Pour les matériels de tensions assignées de la série I, les tensions de coupure spécifiées dans le Tableau 8 ne sont admissibles que pour les tensions de tenue assignées aux chocs de foudre de la liste 2 (voir 5.2.4).

^b Les valeurs des tensions de coupure peuvent dépasser les limites données dans le Tableau 7 pour une durée n'excédant pas 200 µs, mais elles ne doivent pas dépasser les limites données dans le Tableau 8 (voir Figure 2).



Anglais	Français
Switching voltage	Tension de coupure
Time	Temps

Légende

- a Courbe de la tension de coupure
- c Limite de la tension de coupure – Tableau 8
- b Limite de la tension de coupure – Tableau 7
- d $\leq 200 \mu\text{s}$

Figure 2 – Tensions de coupure admissibles pour les éléments de remplacement présentant un faible courant assigné (Tableau 8)

5.2.9 Caractéristiques temps-courant

Les caractéristiques temps-courant des éléments de remplacement sont fixées comme suit: le courant est appliqué à un élément de remplacement neuf et sans charge préalable placé dans un socle spécifié par le fabricant, raccordé au circuit d'essai au moyen de conducteurs ayant les dimensions et les longueurs spécifiées en 7.5.1.2.

Sauf spécification contraire, les caractéristiques temps-courant doivent être jugées applicables à une température de l'air ambiant de 20 °C.

Le fabricant doit fournir des courbes déterminées à partir des résultats obtenus lors des essais de type relatifs à la vérification de la caractéristique temps-courant, spécifiés en 7.7.2.

Les caractéristiques temps-courant doivent être présentées avec le courant en abscisse et le temps en ordonnée.

Des échelles logarithmiques doivent être utilisées sur chacun des axes de coordonnées. Les bases des échelles logarithmiques (dimensions d'une décade) doivent être dans le rapport 2:1, la plus grande dimension étant en abscisse. Cependant, pour tenir compte d'une pratique en vigueur depuis longtemps aux Etats-Unis, un rapport 1:1 (5,6 cm) est admis en variante.

La représentation doit être faite sur une feuille de format normalisé A3 ou A4, ou suivant la norme des Etats-Unis.

Les dimensions des décades doivent être choisies dans les séries suivantes:

2 cm, 4 cm, 8 cm, 16 cm et 2,8 cm, 5,6 cm, 11,2 cm.

Il est recommandé d'utiliser les dimensions de décades 2,8 cm et 5,6 cm, dès lors que cela est possible.

Les courbes doivent indiquer:

- la relation entre la durée virtuelle de préarc et le courant présumé;
- le courant de référence utilisé, moyen ou minimal. Si des valeurs moyennes sont utilisées, la tolérance ne doit pas dépasser ± 20 %. Si des valeurs minimales sont utilisées, la tolérance ne doit pas dépasser $+50$ %;
- le type et le courant assigné de l'élément de remplacement auquel les courbes s'appliquent;
- la plage de temps suivant les spécifications de 7.7.2.2. Pour les fusibles associés, la courbe doit être tracée en pointillés depuis le courant minimal de coupure jusqu'à 600 s, si ce courant minimal de coupure correspond à un temps inférieur à 600 s.

5.2.10 Caractéristique d'amplitude du courant coupé limité

Le fabricant doit indiquer la limite supérieure du courant coupé limité correspondant à chaque valeur de courant coupé présumé jusqu'au courant maximal de coupure assigné du fusible dans les conditions spécifiées lors des essais de type de coupure donnés en 7.6.

Il doit être précisé si la caractéristique s'applique à 50 Hz ou 60 Hz.

5.2.11 Caractéristiques I^2t

Le fabricant doit fournir des valeurs de I^2t de fonctionnement et de I^2t de préarc correspondant aux courants présumés pour lesquels le fusible limite le courant coupé.

Les valeurs fixées pour I^2t de fonctionnement doivent correspondre aux valeurs les plus élevées susceptibles d'être rencontrées en service. Ces valeurs doivent se référer aux conditions d'essai du présent document, par exemple en ce qui concerne les valeurs de tension, de fréquence et de facteur de puissance.

Les valeurs fixées pour I^2t de préarc doivent correspondre aux valeurs les plus faibles susceptibles d'être rencontrées en service.

La présentation des valeurs de I^2t peut être faite sous la forme d'un simple tableau ou d'un diagramme (par exemple histogramme) ou peut utiliser une forme graphique avec le courant présumé en abscisse et I^2t en ordonnée, les deux échelles étant logarithmiques aux dimensions privilégiées indiquées en 5.2.9.

Les valeurs de I^2t déterminées à partir des essais de type de coupure spécifiés en 7.6 ne doivent pas être supérieures (pour I^2t de fonctionnement) ou inférieures (pour I^2t de préarc) aux valeurs fixées par le fabricant.

5.2.12 Puissance dissipée

Le fabricant doit fournir des valeurs de puissance dissipée d'un élément de remplacement à 50 % et à 100 % du courant assigné de l'élément de remplacement (voir 7.5.3).

5.3 Valeurs assignées et caractéristiques de types d'éléments de remplacement particuliers et applications

5.3.1 Éléments de remplacement pour applications de transformateur

Bien que les éléments de remplacement soient le plus souvent utilisés pour les applications de transformateur, aucune caractéristique particulière n'est spécifiée. Cependant, l'IEC TR 62655:2013 donne de nombreuses recommandations d'application, généralement liées à la caractéristique temps-courant d'un élément de remplacement.

5.3.2 Éléments de remplacement pour application dans des circuits comprenant des moteurs

L'IEC 60644 donne les caractéristiques particulières d'éléments de remplacement pour circuits comprenant des moteurs, ainsi que des exigences d'essai supplémentaires.

5.3.3 Éléments de remplacement pour la protection des condensateurs

Pour les éléments de remplacement limiteurs de courant de protection des condensateurs, aucune caractéristique particulière n'est spécifiée, mais ils sont soumis à essai conformément au présent document et aux exigences d'essai supplémentaires indiquées par l'IEC 60549.

5.3.4 Fusibles équipés de dispositifs indicateurs

5.3.4.1 Généralités

Les fusibles peuvent être équipés de dispositifs indiquant qu'ils ont fonctionné (fondus et/ou interrompus ou, dans le cas d'un dispositif à déclenchement thermique, ont atteint la température de déclenchement). Les dispositifs couverts par le présent document comprennent les indicateurs et les percuteurs qui font partie intégrante d'un élément de remplacement. Un indicateur donne simplement une indication visuelle du fonctionnement du fusible et ne fournit aucune force garantie pour faire fonctionner des dispositifs auxiliaires (comme le déclenchement d'un commutateur connecté en série). Un percuteur possède un profil force/distance défini et est généralement utilisé pour déclencher un dispositif auxiliaire.

Le fonctionnement correct du percuteur lié au dispositif d'ouverture d'un appareil de connexion ne relève pas du domaine d'application du présent document, voir l'IEC 62271-105.

5.3.4.2 Caractéristiques de l'indicateur

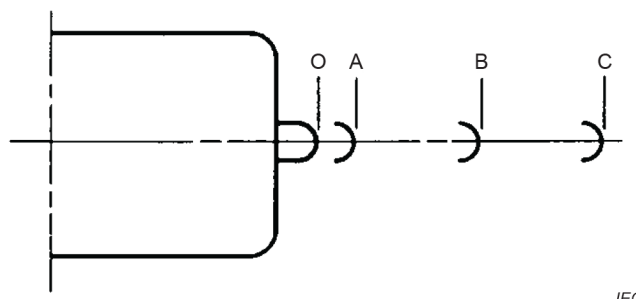
Il n'existe pas d'exigences spécifiques pour un indicateur, sauf qu'il convient que le déploiement de l'indicateur soit facilement visible après le fonctionnement du fusible.

5.3.4.3 Caractéristiques mécaniques du percuteur

Les trois types de percuteurs (faible, moyen et fort) sont classés suivant la quantité d'énergie qu'ils sont capables de fournir entre deux points spécifiés A et B (voir Figure 3) de leur course à un appareil mécanique de connexion ou à un dispositif de signalisation et, pour les types moyen et fort, par un effort minimal de maintien. L'effort de maintien est la caractéristique qui empêche le retour du percuteur après fonctionnement à une distance inférieure à la course réelle minimale OB lorsqu'un effort statique externe est appliqué.

NOTE Un percuteur assure normalement la fonction d'un indicateur.

Les caractéristiques mécaniques des percuteurs sont données dans le Tableau 9.



IEC

Légende

- OA Course libre – Pas de niveau d'énergie spécifié
- AB Course additionnelle pendant laquelle l'énergie spécifiée doit être fournie
- OB Course réelle minimale
- OC Course réelle maximale
- CB Course maximale de retour autorisée sous l'influence de l'effort de maintien (le cas échéant)

Figure 3 – Différentes étapes de la course du percuteur

Tableau 9 – Caractéristiques mécaniques du percuteur

Type	Energie	Caractéristiques mécaniques					
		Valeurs de la		Course réelle		Effort minimal de maintien	Durée maximale de la course ^b
		Course libre (OA) ^a	Course additionnelle pendant laquelle l'énergie doit être fournie (AB) ^a	Min. (OB) ^a	Max. (OC) ^a		
	J	mm	mm	mm	mm	N	ms
Faible	0,3 ± 0,25	2	8	10	30	Sans objet	50
Moyen	1 ± 0,5	4	16	20	40	20	50
Fort	2 ± 1	4	6	10	16	40	50

^a Voir Figure 3.

^b La durée de la course est définie par l'intervalle entre l'instant du début de l'arc et l'instant où la course OB est atteinte. Le temps d'arc minimal admissible de 100 ms (5.3.5.3) est suffisant pour couvrir ces 50 ms plus une durée supplémentaire de 50 ms pour la durée de fonctionnement de l'appareil de connexion.

5.3.4.4 Percuteurs thermiques

Les percuteurs thermiques sont utilisés comme méthode de réduction de la température des fusibles avant le fonctionnement du percuteur électrique, principalement à des courants plus faibles. Il est possible qu'un percuteur thermique fonctionne, les principaux éléments fusibles étant encore intacts. Ils sont normalement utilisés dans les fusibles sous enveloppe ou puits (en particulier dans les puits) et, en raison des différentes conceptions et matériaux utilisés, des différentes positions relatives du fusible (par exemple horizontale ou verticale) et des différentes tailles de fusibles, il n'est pas possible de spécifier de valeurs limites pour la durée de fonctionnement ou la température de déclenchement.

Les caractéristiques mécaniques des percuteurs selon 5.3.4.3 sont aussi valables pour les percuteurs thermiques.

5.3.5 Exigences spéciales pour les fusibles associés destinés à être utilisés dans les combinés interrupteurs-fusibles selon l'IEC 62271-105

5.3.5.1 Généralités

Pour de telles applications, il est nécessaire de s'assurer que:

- a) une fois installé dans son environnement d'utilisation, le fusible est capable de supporter des courants inférieurs à son courant minimal de coupure pendant la période de préarc (c'est-à-dire juste avant la fusion réelle du fusible) sans dommage thermique pour lui-même ou son environnement;
- b) le temps d'arc admissible sans dommages (voir 5.3.5.3 et 8.3.3.3) pour des courants tout juste inférieurs au courant minimal de coupure est plus long que le temps d'ouverture de l'interrupteur associé.

5.3.5.2 Température maximale du corps du fusible dans les conditions de préarc

Pour les fusibles associés destinés à être utilisés dans les combinés interrupteurs-fusibles avec percuteur selon l'IEC 62271-105, le fabricant de fusibles doit donner la température maximale que peut atteindre le corps du fusible pour tout courant supérieur au courant minimal de fusion, ainsi que la valeur du courant correspondante.

La procédure d'essai pour déterminer ces valeurs de courant et température est donnée en 8.3.3.2. En cas de série homogène, la réalisation de l'essai sur le fusible ayant le courant assigné le plus élevé est suffisante.

5.3.5.3 Temps d'arc maximal admissible

Le temps d'arc maximal admissible est la durée entre le début de l'arc et l'apparition de dommage extérieur sur le fusible. Le fabricant du fusible doit donner des informations concernant le temps d'arc maximal admissible, pour une valeur de courant comprise entre 70 % et 100 % du courant minimal de coupure assigné.

Ce temps doit être au minimum de 0,1 s. La procédure d'essai est décrite en 8.3.3.3.

5.3.6 Courant permanent admissible d'un élément de remplacement (I_a)

Courant attribué à un élément de remplacement qu'un élément de remplacement neuf et propre peut supporter d'une façon continue, à une température environnante spécifiée, sans que les limites de températures maximales soient dépassées lorsqu'il est monté comme spécifié par le fabricant. La température environnante peut dépasser 40 °C (voir l'IEC TR 62655:2013).

NOTE Il est possible que les valeurs de courant permanent admissible soient supérieures, égales ou inférieures au courant assigné spécifié, (I_r). Par exemple, des valeurs plus élevées de courant permanent admissible sont principalement associées à certaines conceptions de fusible, alors que dans une situation plus habituelle, les valeurs plus faibles de courant permanent admissible sont normalement associées à des températures environnantes élevées et/ou des conditions d'application spécifiques. Il est également possible qu'un élément de remplacement particulier présente plusieurs courants permanents admissibles spécifiés (par exemple chacun à une température environnante différente) ou un courant permanent admissible défini par une formule relative à la température environnante.

5.3.7 Courant d'enveloppe maximal (I_{fep})

Le courant attribué à un élément de remplacement par le fabricant du FEP, qu'un élément de remplacement propre et neuf peut supporter d'une façon continue, à une température environnante supérieure à 40 °C, lorsqu'il est monté comme spécifié par le fabricant et immergé dans un liquide. Un élément de remplacement a plusieurs valeurs I_{fep} , en fonction de l'enveloppe et de la température environnante. (Voir l'IEC TR 62655:2013). Les valeurs maximales de température données dans le Tableau 6 peuvent être dépassées, mais uniquement par accord entre le fabricant et l'utilisateur. Le courant d'enveloppe maximal est utilisé pour l'essai d'étanchéité aux liquides (8.3.4).

6 Conception, construction et performances

6.1 Exigences générales concernant le fonctionnement des fusibles

6.1.1 Généralités

Lorsque les fusibles sont utilisés sur des réseaux dont la tension de service est inférieure à leur tension assignée, le courant maximal de coupure n'est pas inférieur au courant maximal de coupure assigné.

Il convient de ne pas utiliser de fusibles limiteurs de courant sur des réseaux de tension inférieure à leur tension assignée sans prendre en considération la tension de coupure produite par le fusible en cours de fonctionnement par rapport au niveau d'isolement.

Il n'a pas été spécifié d'essais dans la zone des courants inférieurs à ceux spécifiés dans les essais de coupure indiqués en 7.6, pour vérifier le fonctionnement du fusible en ce qui concerne son aptitude à supporter le courant de toutes les combinaisons temps-courant possibles, sans détérioration conduisant soit à un fonctionnement prématuré, soit à une défaillance (voir l'IEC TR 62655:2013).

6.1.2 Conditions normalisées d'utilisation

Les essais spécifiés dans le présent document ont pour but de démontrer que le fusible peut être utilisé dans les conditions suivantes:

- a) la composante alternative du courant n'est pas supérieure au courant maximal de coupure assigné;
- b) la composante alternative d'un courant que le fusible est destiné à couper n'est pas inférieure:
 - au courant minimal de coupure assigné pour un fusible associé;
 - au courant provoquant la fusion en 1 h pour un fusible à usage général;
 - au courant assigné pour un fusible à coupure intégrale;
- c) la température environnante n'est pas supérieure à la température d'application maximale (TAM), pour les fusibles auxquels une TAM a été attribuée. Dans le cas d'un fusible à coupure intégrale ayant une TAM attribuée, il n'y a pas de limitation basse de courant;
- d) la tension la plus élevée du réseau n'est pas supérieure à la tension assignée de l'élément de remplacement, si elle est utilisée sur un réseau triphasé à neutre directement à la terre, ou sur un réseau à neutre mis à la terre présentant une faible impédance (ou une faible résistance);
- e) la tension la plus élevée du réseau ne dépasse pas 87 % de la tension assignée de l'élément de remplacement, si elle est utilisée sur un réseau triphasé à neutre isolé ou sur un réseau compensé par bobine d'extinction et que les éléments de remplacement ont été soumis à essai sous une tension de la série I et conformément au Tableau 11. Cela est dû à la possibilité d'un double défaut à la terre (l'un du côté alimentation, l'autre du côté charge d'un fusible sur une autre phase).

Il peut être noté qu'une tension réseau maximale supérieure à 87 % de la tension assignée de l'élément de remplacement est acceptable lorsque des essais supplémentaires ou en variante ont été réalisés sur le fusible (voir l'IEC TR 62655:2013, 5.1.3.3);

- f) la tension monophasée la plus élevée à laquelle l'élément de remplacement est soumis pendant et après l'interruption du courant ne dépasse pas 87 % de la tension assignée de l'élément de remplacement, s'il est utilisé sur une application monophasée et que les éléments de remplacement ont été soumis à essai sous une tension de la série I et conformément au Tableau 11.

Il peut être noté qu'une tension maximale supérieure à 87 % de la tension assignée de l'élément de remplacement est acceptable lorsque des essais supplémentaires ou en variante ont été réalisés sur le fusible (voir l'IEC TR 62655:2013, 5.1.3.3);

- g) la tension la plus élevée d'un réseau triphasé ou la tension monophasée la plus élevée d'une application monophasée ne dépasse pas la tension assignée de l'élément de remplacement, si l'élément de remplacement a été soumis à essai sous une tension de la série II et conformément au Tableau 11, Note b;
- h) la tension transitoire de rétablissement présumée est comprise dans les limites correspondant aux essais spécifiés en 7.6.1.4;
- i) la fréquence est comprise entre 48 Hz et 62 Hz;
- j) le facteur de puissance n'est pas inférieur à celui spécifié dans le Tableau 11;
- k) l'onde de TTR présumée, tout en traversant le segment de droite définissant le retard sans le recouper, ne se situe pas au-dessus du tracé de référence avec les paramètres spécifiés en 7.6.1.4.

NOTE 3 En ce qui concerne les caractéristiques de la TTR, la durée t_3 est sans importance pour le comportement des fusibles (sauf pour les fusibles qui donnent des crêtes de tension d'arc élevées immédiatement après le début de l'arc, voir 7.6.1.5.3).

Il est considéré que les fusibles sont capables d'interrompre correctement une quelconque valeur de courant présumé, indépendamment de la composante aperiodique qu'il est possible d'obtenir, à condition que les exigences précédentes aient été satisfaites.

6.1.3 Conditions normalisées de comportement

Conformément aux conditions d'utilisation indiquées en 6.1.2, le comportement du fusible doit être le suivant.

- a) Un élément de remplacement utilisant un matériau extingueur de l'arc ne doit pas émettre de flamme ni de matériau extingueur de l'arc; cependant, il est admis qu'une faible émission de flamme puisse se produire à partir d'un percuteur ou d'un dispositif indicateur, à condition que cela ne provoque pas d'amorçage ni de courant de fuite important à la masse.
- b) Après fonctionnement, les parties du fusible, sauf celles destinées à être remplacées après chaque fonctionnement, doivent être dans leur état d'origine. Il doit être possible d'enlever l'élément de remplacement en une seule pièce.
- c) Lorsque les éléments de remplacement sont fournis avec des dispositifs indicateurs ou des percuteurs:
 - 1) les dispositifs indicateurs peuvent ne pas satisfaire à des exigences spécifiées, mais doivent fonctionner de façon visible et complète;
 - 2) les percuteurs doivent satisfaire aux exigences spécifiées en 5.3.4.3 et fonctionner complètement;
 - 3) le fonctionnement d'un percuteur thermique avant la fusion de l'élément fusible au cours d'un essai de la suite d'essais 3 ne doit pas être considéré comme une non-coupe du fusible.
- d) Le fonctionnement ne doit pas provoquer de tensions de coupure supérieures aux valeurs spécifiées en 5.2.8.
- e) Les valeurs des courants coupés limités correspondant à chaque valeur de courant coupé présumé ne doivent pas dépasser les valeurs correspondantes de la caractéristique d'amplitude du courant coupé limité données par le fabricant.
- f) Après fonctionnement, le fusible doit pouvoir supporter la tension de rétablissement à fréquence industrielle entre ses bornes.

6.2 Marquages à porter sur les plaques signalétiques

Les marquages à porter sur les plaques signalétiques des éléments de remplacement et des socles sont donnés ci-dessous et doivent être inscrits de façon indélébile.

Il peut être noté que lorsque les dimensions physiques de l'élément de remplacement sont trop petites pour permettre d'inclure dans ces marquages tous ceux donnés ci-dessous, des méthodes en variante peuvent être adoptées.

Les nombres représentant les valeurs assignées doivent être dans tous les cas suivis par le symbole de l'unité dans laquelle elles sont exprimées.

a) Sur le socle:

- nom du fabricant ou marque de fabrique;
- désignation de type prévue par le fabricant;
- tension assignée;
- courant assigné.

b) Sur l'élément de remplacement:

- nom du fabricant ou marque de fabrique;
- désignation de type prévue par le fabricant;
- tension assignée;
- courant assigné;
- courant maximal de coupure assigné;
- classe (associé, usage général, coupure intégrale);
- courant minimal de coupure assigné (pour fusibles associés seulement);
- température d'application maximale (pour les éléments de remplacement conçus pour être utilisés sous des températures environnantes supérieures à 40 °C, soumis à essai conformément à l'Annexe E);
- type du percuteur (léger, moyen ou fort), le cas échéant;
- emplacement du percuteur (s'il y a lieu);
- code de date d'identification (au moins le mois et l'année).

S'il y a lieu, il doit également être indiqué, sur l'élément de remplacement et sur le socle, s'ils sont conçus pour une utilisation à l'extérieur ou dans un liquide isolant, à moins que cette information ne soit incluse dans la désignation de type ou dans le code d'identification.

6.3 Dimensions

Bien que le présent document ne contienne aucune exigence normative pour les dimensions globales des fusibles, l'Annexe D, informative, contient une collection et une classification des types et des dimensions spécifiés dans les différentes normes nationales existantes.

7 Essais de type réalisés sur tous les fusibles

7.1 Conditions d'exécution des essais

Les essais de type sont réalisés pour vérifier qu'un type ou une conception particulière de fusible est conforme aux caractéristiques spécifiées et fonctionne de façon satisfaisante dans les conditions normales de comportement. Les essais de type sont réalisés sur des échantillons pour vérifier les caractéristiques spécifiées pour tous les fusibles du même type.

Ces essais ne doivent être répétés que si la conception est modifiée de telle façon que ses performances puissent en être modifiées.

Les essais réalisés sur des éléments de remplacement équipés de percuteurs ou d'indicateurs sont valables pour des éléments de remplacement identiques à tous points de vue, mais sans percuteur ou indicateur.

Pour des facilités d'essai, et avec l'accord préalable du fabricant, les valeurs prescrites pour les essais, notamment les tolérances, peuvent être modifiées dans le sens qui accroît la sévérité des essais. Lorsqu'une tolérance n'est pas spécifiée, les essais de type doivent être réalisés à des valeurs au moins aussi sévères que celles spécifiées; les limites supérieures sont soumises à l'agrément du fabricant.

Les essais spécifiés dans le présent document sont, en principe, des essais de type, et les modalités de prélèvement pour les essais de réception ne sont pas données.

Si l'utilisateur souhaite effectuer des essais de réception, ces essais doivent être choisis parmi les essais de type, après accord entre fabricant et utilisateur.

Lorsque des essais sont réalisés sur un fusible dont le rapport des essais de type a déjà été accepté, la responsabilité du fabricant envers l'utilisateur est limitée aux valeurs spécifiées les moins contraignantes et non aux valeurs obtenues au cours des essais de type. Par exemple, bien que des essais puissent avoir été faits à 103 % de la tension de rétablissement à fréquence industrielle spécifiée, le fabricant n'est cependant pas engagé pour de quelconques valeurs de fonctionnement au-delà de 100 % de la tension de rétablissement à fréquence industrielle spécifiée.

7.2 Liste des essais de type

Les essais de type à réaliser sur tous les fusibles après la mise au point d'une conception ou à la suite d'une modification affectant le bon fonctionnement sont les suivants:

- essais diélectriques (socle seulement) (7.4);
- essais d'échauffement et mesure de la puissance dissipée (7.5);
- essais de coupure (7.6);
- essais de vérification de la caractéristique temps-courant (7.7).

7.3 Règles communes à tous les essais de type

7.3.1 Généralités

Les résultats de tous les essais de type doivent être consignés dans des rapports d'essai de type contenant les indications nécessaires pour démontrer la conformité au présent document.

Sauf spécification contraire, ce qui suit doit constituer les règles communes à tous les essais.

7.3.2 Montage de l'élément de remplacement

L'élément de remplacement doit être soumis à essai sur un socle tel que spécifié par le fabricant de l'élément de remplacement, sauf si l'élément de remplacement n'est pas destiné à être monté sur un socle, auquel cas les instructions de montage du fabricant doivent être suivies.

7.3.3 Etat de l'appareil à soumettre à essai

L'appareil doit être neuf, propre et en bon état. Avant de réaliser les essais, à l'exception des essais diélectriques, la résistance de chaque élément de remplacement doit être mesurée avec un courant ne dépassant pas 10 % du courant assigné. La valeur de la résistance doit être consignée, ainsi que la température de l'air ambiant à laquelle la mesure a été effectuée.

7.3.4 Montage des fusibles

Le fusible à soumettre à essai doit être monté sur un châssis métallique rigide mis à la terre, dans la position de service normal pour laquelle il a été conçu.

Les fusibles utilisés comme fusible sous enveloppe ou puits (FEP) doivent être montés conformément aux spécifications du fabricant du FEP ou du fusible. L'enveloppe et le socle du dispositif doivent être mis à la terre, le cas échéant.

La mise à la terre n'est pas exigée pour les essais d'échauffement (7.5) et les essais de vérification de la caractéristique temps-courant (7.7).

Sauf spécification contraire, les connexions doivent être disposées de façon à ne pas réduire les distances d'isolement normales.

7.4 Essais diélectriques

7.4.1 Règles d'essai

7.4.1.1 Généralités

Les règles pour les essais diélectriques doivent être celles spécifiées en 7.3 et comme suit.

NOTE Les éléments de remplacement ne peuvent pas être soumis à essai séparément aussi bien à l'état neuf qu'après fonctionnement.

7.4.1.2 Montage

Pour les dispositions multipolaires de fusibles, lorsque la distance entre pôles n'est pas fixée par construction, il est nécessaire, lors des essais, d'utiliser la distance minimale entre pôles spécifiée par le fabricant.

7.4.1.3 Connexions électriques

Les connexions électriques doivent être constituées de conducteurs nus raccordés à chaque borne. Ces conducteurs doivent être disposés sans support, à partir des bornes du fusible et suivant un trajet sensiblement parallèle à l'élément de remplacement sur une distance au moins égale à la distance de sectionnement du fusible.

7.4.2 Points d'application de la tension d'essai pour les essais aux ondes de choc et à fréquence industrielle

La tension d'essai spécifiée dans les Tableau 4 et Tableau 5 pour le fusible à l'essai doit être appliquée successivement entre les points suivants, une borne de sortie du générateur de choc et un point de la source à fréquence industrielle étant reliés à la terre.

a) Entre les bornes et toutes les parties métalliques susceptibles d'être mises à la terre:

- 1) le fusible étant équipé de son élément de remplacement prêt à être utilisé;
- 2) l'élément de remplacement étant enlevé.

Pour les essais avec dispositions multipolaires de fusibles:

- entre toutes les parties actives de tous les pôles reliées ensemble et les parties métalliques susceptibles d'être mises à la terre;
- entre les bornes de chaque pôle et les parties métalliques susceptibles d'être mises à la terre, toutes les parties actives des autres pôles étant reliées aux parties métalliques susceptibles d'être mises à la terre.

b) Entre les bornes: ces essais sont réalisés sur les socles seulement.

Les parties métalliques susceptibles d'être mises à la terre doivent être reliées à la terre si des propriétés de sectionnement ne sont pas attribuées au fusible. Si des propriétés de sectionnement sont attribuées au fusible, les parties métalliques susceptibles d'être mises à la terre doivent être soit isolées de la terre, soit reliées au point milieu de la source.

Pour les dispositions multipolaires de fusibles, il convient que les bornes d'un côté soient reliées ensemble, et que les bornes du côté opposé soient également reliées entre elles.

7.4.3 Conditions atmosphériques pendant l'essai

L'essai doit être réalisé dans des conditions atmosphériques aussi voisines que possible des conditions normalisées spécifiées en 4.3.1 de l'IEC 60060-1:2010.

Les facteurs de correction pour la densité de l'air et l'humidité, tels qu'ils sont indiqués en 4.3 de l'IEC 60060-1:2010, peuvent être utilisés pour les fusibles jusqu'à plus ample information.

7.4.4 Essais à sec aux chocs de foudre

Les fusibles doivent être soumis à des essais à sec aux chocs de foudre avec des chocs 1,2/50, conformes à l'Article 7 de l'IEC 60060-1:2010.

Quinze chocs consécutifs aux valeurs de tension de tenue assignée aux chocs de foudre spécifiées dans les Tableau 4 et Tableau 5 doivent être appliqués de la façon suivante:

- à la tension de tenue assignée à la masse et entre pôles pour toutes les conditions d'essai spécifiées au point a) de 7.4.2;
- à la tension de tenue assignée à la masse et entre pôles pour la condition d'essai spécifiée au point b) de 7.4.2 si des propriétés de sectionnement ne sont pas attribuées au socle;
- à la tension de tenue assignée sur la distance de sectionnement pour la condition d'essai spécifiée au point b) de 7.4.2 si des propriétés de sectionnement sont attribuées au socle.

Le fusible doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai si le nombre de décharges disruptives à la masse, entre pôles ou entre entrée et sortie sur une isolation autorégénératrice, ne dépasse pas deux pour chaque condition d'essai et s'il ne se produit pas de décharge disruptive sur une isolation non autorégénératrice conformément à l'IEC 60071-1.

Le fusible doit pouvoir satisfaire aux essais spécifiés avec des tensions de polarité positive et négative, mais lorsqu'il est évident qu'une polarité donne la plus faible tension d'amorçage, il suffit d'effectuer l'essai uniquement avec cette polarité.

7.4.5 Essais de tension de tenue à sec à fréquence industrielle

Les fusibles doivent être soumis pendant 1 min à des essais de tension de tenue à sec à fréquence industrielle conformément aux spécifications de l'IEC 60060-1.

Le circuit d'essai (transformateur muni d'un dispositif de réglage de la tension) doit avoir un courant de court-circuit d'au moins 0,2 A. Il est admis de mesurer la grandeur de ce courant à environ 1/10 de la tension spécifiée.

Les valeurs des tensions pour les essais de tension de tenue assignée à fréquence industrielle pendant 1 min sont spécifiées dans les Tableau 4 et Tableau 5. Les essais doivent être réalisés aux valeurs suivantes:

- à la tension de tenue assignée à la masse et entre pôles pour toutes les conditions d'essai spécifiées au point a) de 7.4.2;
- à la tension de tenue assignée à la masse et entre pôles pour la condition d'essai spécifiée au point b) de 7.4.2 si des propriétés de sectionnement ne sont pas attribuées au socle;
- à la tension de tenue assignée sur la distance de sectionnement pour la condition d'essai spécifiée au point b) de 7.4.2 si des propriétés de sectionnement sont attribuées au socle.

S'il se produit un contournement ou une perforation, le fusible doit être considéré comme n'ayant pas satisfait à l'essai.

7.4.6 Essais de tension de tenue sous pluie à fréquence industrielle

Les fusibles de type extérieur doivent être soumis à des essais de tension de tenue sous pluie à fréquence industrielle, dans les mêmes conditions que celles spécifiées en 7.4.5. Toutefois, s'il se produit une décharge disruptive sur une isolation externe autorégénératrice, cet essai doit être répété dans les mêmes conditions d'essai et le fusible doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai s'il ne se produit pas de nouvelle décharge disruptive.

Pendant ces essais, les fusibles doivent être soumis à une pluie artificielle tombant avec un angle de 45° avec la verticale, la procédure d'essai étant conforme à 4.4 de l'IEC 60060-1:2010.

7.5 Essais d'échauffement et mesure de la puissance dissipée

7.5.1 Règles d'essai

7.5.1.1 Généralités

Les essais d'échauffement et de mesure de la puissance dissipée doivent être réalisés sur un fusible conformément aux indications de 7.3 et comme décrit ci-après.

7.5.1.2 Echantillon d'essai

L'élément de remplacement doit avoir le courant assigné maximal dans chaque taille de corps et configuration utilisable dans le socle ou le moyen de montage spécifié par le fabricant du fusible.

7.5.1.3 Mise en place de l'équipement

L'essai doit être réalisé dans une salle fermée, pratiquement exempte de courants d'air, exception faite de ceux provoqués par l'échauffement du dispositif soumis à essai.

Le fusible dans l'air doit être monté verticalement, à moins qu'une autre orientation ne soit spécifiée par le fabricant, et raccordé au circuit d'essai par des conducteurs en cuivre nu comme suit: chaque conducteur doit avoir une longueur approximative de 1 m et doit être monté dans un plan parallèle au plan de fixation du fusible, mais il peut avoir une direction quelconque dans ce plan. Les sections des conducteurs sont données dans le Tableau 10.

Tableau 10 – Branchement électrique au circuit d'essai – Section des conducteurs

Courant assigné de l'élément de remplacement ^a A	Section des conducteurs en cuivre nu ^b mm ²
Inférieur ou égal à 25	De 20 à 30
Supérieur à 25 et inférieur ou égal à 63	De 40 à 60
Supérieur à 63 et inférieur ou égal à 200	De 120 à 160
Supérieur à 200 et inférieur ou égal à 400	De 250 à 350
Supérieur à 400 et inférieur ou égal à 630	De 500 à 600
Supérieur à 630 et inférieur ou égal à 1 000	De 800 à 1 000
^a Pour les éléments de remplacement en parallèle, le courant assigné à prendre en compte est le courant total fixé par le fabricant.	
^b La section équivalente en milliers de milles circulaires (MCM, thousands of Circular Mils) peut être obtenue en multipliant par deux les nombres en mm ² .	

Les éléments de remplacement immergés dans un liquide doivent être soumis à essai dans une cuve remplie de liquide, conçue pour représenter les conditions de service. Le volume de cette cuve doit être égal à environ 30 fois le volume de l'élément de remplacement soumis à essai. L'élément de remplacement doit être immergé de façon que le liquide soit réparti de manière homogène autour de lui. L'Annexe C donne, à titre d'exemple, un dispositif d'essai recommandé pour les éléments de remplacement jusqu'à 200 A selon la feuille de caractéristiques II de l'Annexe D. Les connexions d'essai extérieures à la cuve doivent être disposées comme indiqué à l'alinéa précédent avec les dimensions données dans le Tableau 10. Le liquide isolant à utiliser doit être approuvé par le fabricant du fusible.

Il n'est pas nécessaire de respecter les distances d'isolement normales.

Les essais doivent être réalisés au courant assigné de l'élément de remplacement et à une fréquence inférieure ou égale à 62 Hz (y compris en courant continu). Chaque essai doit être réalisé pendant une période suffisamment longue pour que l'échauffement atteigne une valeur constante (dans la pratique, cette condition est considérée comme atteinte lorsque l'élévation de l'échauffement n'excède pas 1 K/h).

L'échauffement des différentes parties du fusible ne doit pas dépasser les valeurs spécifiées en 5.2.7.

Un percuteur thermique, le cas échéant, ne doit pas se déployer pendant l'essai.

7.5.2 Mesure de la température

7.5.2.1 Température des éléments du fusible

La température des différentes parties pour lesquelles des limites sont spécifiées doit être déterminée par des dispositifs tels que des thermocouples ou des éléments de contacts, placés et fixés de façon à obtenir une bonne conduction de la chaleur au point accessible le plus chaud. L'échauffement doit être enregistré à des intervalles réguliers au cours de l'essai, lorsque le calcul de la constante de temps thermique est nécessaire.

La température à la surface d'un composant immergé dans un diélectrique liquide doit être mesurée uniquement avec des thermocouples fixés à la surface de ce composant. La température du diélectrique liquide lui-même doit être mesurée au-dessous, à proximité du composant (c'est-à-dire dans le liquide qui refroidit le composant).

7.5.2.2 Température de l'air ambiant

La température de l'air ambiant est la température moyenne de l'air environnant le fusible de connexion (pour des fusibles sous enveloppe, c'est la température de l'air à l'extérieur de l'enveloppe). Elle doit être mesurée pendant le dernier quart de la période d'essai, en effectuant la lecture sur un thermocouple (ou un thermomètre) placé entre 30 cm et 1 m à partir du côté de l'appareil. Les thermomètres ou les thermocouples doivent être protégés contre les courants d'air et les influences anormales de chaleur.

En vue d'éviter des erreurs d'indication du fait de variations rapides de température, les thermomètres ou les thermocouples peuvent être placés dans de petits flacons contenant environ un demi-litre d'huile.

Pendant le dernier quart de la période d'essai, la variation de la température de l'air ambiant ne doit pas dépasser 1 K en 1 h. Si cela n'est pas possible du fait des conditions de température défavorables du local d'essai, la température d'un fusible identique, placé dans les mêmes conditions, mais sans courant, peut être prise pour remplacer la température de l'air ambiant. Ce fusible supplémentaire ne doit pas être soumis à une quantité de chaleur excessive.

La température de l'air ambiant pendant les essais doit être comprise entre +10 °C et +40 °C. Aucune correction des échauffements observés ne doit être faite pour des températures de l'air ambiant comprises dans ces limites.

7.5.3 Mesure de la puissance dissipée

La mesure de la puissance dissipée (d'un élément de remplacement) doit être effectuée pendant l'essai d'échauffement. Deux valeurs doivent être mesurées, l'une à 50 % du courant assigné de l'élément de remplacement et l'autre à 100 %. La tension doit être mesurée sur les contacts des éléments de remplacement aussi près que possible de la pièce de contact immédiatement adjacente. La mesure doit être effectuée lorsque la chute de tension (la température) a atteint une valeur stable pour la valeur de courant considérée. La puissance dissipée est exprimée en watts. Pour un fusible à haute tension, le produit de la chute de tension et du courant est considéré comme une approximation suffisante de la puissance dissipée d'un élément de remplacement.

NOTE Les fabricants d'appareillage et les utilisateurs qui incorporent des fusibles dans leurs équipements peuvent tenir compte des valeurs de puissance dissipée pour déterminer les facteurs de déclassement pour les différents types de fusibles adaptés à leurs équipements. La valeur de puissance dissipée n'est pas le seul paramètre définissant les facteurs de déclassement.

7.6 Essais de coupure

7.6.1 Règles d'essai

7.6.1.1 Généralités

Les règles pour les essais de coupure doivent être celles spécifiées en 7.3 et comme décrites ci-après.

7.6.1.2 Description des essais à réaliser

Les essais doivent être réalisés conformément aux instructions données dans le Tableau 11 et doivent comprendre au moins trois suites d'essais donnant les conditions de coupure les plus sévères dans la gamme des courants de fonctionnement.

Suite d'essais 1: Vérification de fonctionnement au courant maximal de coupure assigné, I_1 .

Suite d'essais 2: Vérification du fonctionnement avec le courant présumé I_2 pour lequel la limitation du courant se produit lorsqu'un niveau élevé d'énergie est emmagasiné dans l'inductance du circuit (voir Note 1 ci-après).

NOTE 1 Le courant I_2 approprié pour satisfaire aux exigences de la suite d'essais 2 spécifiée dans le Tableau 11 est basé sur la conception de l'élément de remplacement. Si le courant n'a pas été déterminé, en fonction de l'expérience ou de l'analyse précédente, une ou plusieurs des méthodes suivantes fournissent une estimation de la valeur du courant I_2 nécessaire pour satisfaire aux exigences. L'exactitude de chaque méthode (c'est-à-dire la proximité du courant calculé par rapport à un courant présumé satisfaisant réellement aux exigences du Tableau 11) dépend de la conception de l'élément de remplacement.

- a) A partir de l'équation suivante, si un essai avec un courant au moins égal à 150 fois le courant assigné a été réalisé au cours de la suite d'essais 1 avec un début de court-circuit en régime symétrique:

$$\text{Estimation de } I_2 = i_1 \sqrt{\frac{i_1}{I_1}}$$

Où:

i_1 est la valeur instantanée du courant à l'instant de fusion dans la suite d'essais 1;

I_1 est le courant présumé de la suite d'essais 1.

- b) La valeur estimée de I_2 est une valeur de courant comprise entre trois et quatre fois le courant auquel correspond une durée de préarc d'une demi-période sur la caractéristique temps-courant (voir 7.7 et 5.2.9).

- c) S'il existe une caractéristique temps-courant pour des durées virtuelles inférieures à 0,010 s, l'estimation d' I_2 est égale à une valeur correspondant au courant à une durée de 0,08 demi-période normale sur cette caractéristique temps-courant.

Suite d'essais 3: Vérification du fonctionnement avec le courant I_3 :

- pour les fusibles associés, I_3 est le courant minimal de coupure assigné;
- pour les fusibles à usage général, I_3 est le courant qui provoque la fusion en 1 h ou plus;
- pour les fusibles à coupure intégrale, I_3 est le courant assigné de l'élément de remplacement. Cela permet un déclassement important qui pourrait amener la valeur minimale du courant de fusion près de la valeur du courant assigné du fusible.

Essai I_t : pour les éléments de remplacement présentant un ou des courants de recouvrement (voir 7.6.1.2).

En cas d'éléments de remplacement comprenant différents dispositifs d'extinction d'arc dans la même enveloppe (par exemple des éléments limiteurs de courant en série avec des éléments d'expulsion), les suites d'essais 1, 2 et 3 ci-dessus doivent être complétées par des essais supplémentaires destinés à prouver leur bon fonctionnement dans la ou les zones de courant I_t où le processus de coupure est transféré d'un mécanisme de coupure à un autre. Dans la mesure où les fusibles sont conçus de manières très différentes, il n'est pas possible de spécifier des exigences d'essai précises applicables à toutes les conceptions. Il incombe au fabricant du fusible de confirmer par l'essai de coupure I_t que les mécanismes de coupure fonctionnent correctement afin de réaliser une interruption de courant appropriée dans la zone du courant de recouvrement. Les critères types utilisés par le fabricant pour évaluer le respect de cette exigence sont traités à l'Annexe F.

Des exigences supplémentaires relatives aux essais de coupure pour les éléments de remplacement destinés à être utilisés sous des températures environnantes supérieures à 40 °C sont traitées à l'Annexe E.

Les valeurs d' I_1 , d' I_2 , d' I_3 et d' I_t sont les valeurs efficaces de la composante alternative du courant.

Si lors de l'exécution des essais de la suite d'essais 2, les exigences de la suite d'essais 1 sont complètement satisfaites au cours d'un ou de plusieurs essais, ces essais n'ont pas besoin d'être répétés au cours de la suite d'essais 1.

Dans des cas très exceptionnels, l'intensité I_2 peut être supérieure au courant maximal de coupure assigné I_1 . Les suites d'essais 1 et 2 doivent alors être remplacées par six essais au courant maximal de coupure assigné avec des angles d'établissement répartis le plus équitablement possible avec environ 30 degrés électriques entre chacun. (Les paramètres utilisés sont ceux de la suite d'essais 2 (voir Tableau 11) à l'exception de l'angle d'établissement et de la valeur du courant instantané à l'instant d'apparition de l'arc.)

S'il est impossible au cours de la suite d'essais 1 d'obtenir un début d'arc au voisinage de 65° après le zéro de tension, même en établissant le courant avec l'angle le plus faible admis, l'exigence spécifiant un essai avec un début d'arc compris entre 40° et 65° après le zéro de tension est remplacée par un essai supplémentaire (soit trois au total) avec un début d'arc compris entre 65° et 90° après le zéro de tension.

Il n'est pas nécessaire de réaliser des essais de coupure sur les éléments de remplacement de tous les calibres de courants d'une série homogène; voir 7.6.4 pour les exigences à satisfaire et les essais à réaliser.

Une série homogène d'éléments de remplacement associés peut également être approuvée sans essai de coupure par interpolation entre les résultats des essais des séries homogènes apparentées d'éléments de remplacement de tensions assignées supérieures et inférieures; voir 7.6.5 pour les exigences à satisfaire.

NOTE 2 Les tensions de la série I sont basées sur les tensions d'isolement du réseau et les tensions de la série II sont basées sur les tensions d'isolement du réseau et certaines exigences de fonctionnement (y compris des tensions supplémentaires). Pour être appropriés pour certaines applications utilisant des tensions de la série II (généralement de type nord-américain), les essais de la suite d'essais 1 et de la suite d'essais 2 utilisant des tensions de la série II sont donc réalisés à la tension assignée du fusible (Tableau 11, Note b).

7.6.1.3 Essai I_t (pour les éléments de remplacement avec un courant de recouvrement)

En principe, un minimum de deux essais doit être réalisé pour chacune des deux valeurs ci-dessous:

$$I_{t1} = 1,2 I_t (\pm 0,05 I_t)$$

et

$$I_{t2} = 0,8 I_t (\pm 0,05 I_t)$$

où I_t est la valeur du courant de recouvrement donnée par le fabricant du fusible.

S'il est connu que ces valeurs ne représentent pas le cas le plus défavorable pour ce type de conception de fusible, le fabricant peut fournir d'autres valeurs pour I_{t1} et I_{t2} .

Les paramètres à utiliser pour réaliser les essais sont les suivants, selon les valeurs du courant de recouvrement I_t :

- I_t dans la gamme des courants de court-circuit (limiteur de courant): toutes conditions d'essais spécifiées dans le Tableau 11 convenant au courant d'essai;
- I_t dans la gamme des faibles surintensités, c'est-à-dire inférieur à 12 fois le courant assigné: le facteur de puissance et la tension de rétablissement à fréquence industrielle sont identiques aux valeurs spécifiées pour la suite d'essais 3;
- I_t dans la gamme intermédiaire:
 - tension de rétablissement à fréquence industrielle égale à la tension assignée $+5_0$ %;
 - facteur de puissance:
 - 0,3 à 0,4 en retard, si I_t est compris entre 12 fois et 25 fois le courant assigné I_r ;
 - 0,2 à 0,3 en retard, si I_t est compris entre 25 fois le courant assigné I_r et I_2 ;
 - TTR: celle-ci est spécifiée par le fabricant de l'élément de remplacement, de manière à représenter les valeurs types constatées dans les circuits pour lesquels l'élément de remplacement est approprié, sur la base des courants d'essais nécessaires. Des recommandations concernant les valeurs appropriées de la TTR peuvent être obtenues à partir des normes d'essai applicables à d'autres dispositifs de coupure destinés à être utilisés dans des circonstances similaires.

Il convient de réaliser les essais dans la zone de courant où il y a un croisement soudain ou progressif du phénomène de coupure entre un mécanisme de coupure et un autre. Les valeurs de courant d'essai sont à fournir par le fabricant. Les critères types utilisés par le fabricant pour évaluer le respect de cette exigence sont traités à l'Annexe F.

Tableau 11 – Essais de coupure – Paramètres

Paramètres	Suites d'essais		
	1 ^a	2	3
Tension de rétablissement à fréquence industrielle	(0,87 × tension assignée) $\begin{smallmatrix} +5 \\ 0 \end{smallmatrix}$ % ^b		Tension assignée $\begin{smallmatrix} +5 \\ 0 \end{smallmatrix}$ %
Caractéristiques de la TTR présumée	Voir 6.6.1.4		Pas de valeur spécifiée
Facteur de puissance	De 0,07 à 0,15 ^c		de 0,4 à 0,6
Courant présumé (valeur efficace de la composante périodique)	I_1 $\begin{smallmatrix} +5 \\ 0 \end{smallmatrix}$ %	I_2	I_3 $\begin{smallmatrix} 0 \\ -10 \end{smallmatrix}$ % ^d
Courant instantané au début de l'arc	Sans objet	De 0,85 I_2 à 1,06 I_2	Sans objet
Angle d'établissement	Pas avant le zéro de tension	De 0° à 20° après le zéro de tension	Aléatoire ^e
Début de l'arc après zéro de tension	<i>Pour un essai:</i> De 40° à 65° <i>Pour deux essais:</i> De 65° à 90°	Sans objet	Sans objet
Durée de maintien de la tension après coupure	Supérieure ou égale à 15 s	Supérieure ou égale à 60 s ou 5 min ^f	
Nombre d'essais	3	3	2
^a Etant donné que les conditions de fonctionnement peuvent produire sur les fusibles une grande variété de contraintes et que les essais de coupure sont destinés en principe à produire sur les fusibles les conditions les plus sévères, notamment en ce qui concerne l'énergie d'arc et les contraintes thermiques et mécaniques pour cette valeur de courant, il est admis que ces conditions sont pratiquement remplies au moins une fois en effectuant les trois essais indiqués. ^b Les essais effectués avec les tensions de la série II (5.2.1) doivent être réalisés à la tension assignée (+5 %, –0 %). ^c Lorsque le fabricant est d'accord, la limite la plus basse ne s'applique pas. ^d Lorsque les limitations de la station d'essais ne permettent pas de maintenir le courant constant, la tolérance sur le courant peut être dépassée dans une direction quelconque pendant un temps n'excédant pas 20 % du temps total de fusion, à condition que le courant au début de l'arc reste dans la tolérance spécifiée pour la suite d'essais 3. ^e L'angle d'établissement peut être aléatoire à condition que la durée de fusion du fusible soit supérieure à 0,1 s. Si la durée de fusion est inférieure ou égale à 0,1 s, un angle d'établissement de cosinus inverse (facteur de puissance) $\pm 10^\circ$ doit être utilisé (pour obtenir un courant approximativement symétrique). Un facteur de puissance du circuit inférieur à 0,4 ne doit pas être utilisé pour cet essai. ^f Pour un élément de remplacement dit "organique", la période de maintien de la tension après la coupure ne doit pas être inférieure à 5 min pour les cas spécifiques suivants: suite d'essais 2: pour les types associés, à usage général et à coupure intégrale; suite d'essais 3: pour les types à usage général et à coupure intégrale. Ces périodes plus longues de maintien de la tension s'appliquent uniquement au calibre de courant assigné le plus élevé d'une série homogène et elles ne s'appliquent pas lorsque ces fusibles sont destinés à être utilisés uniquement dans des combinés interrupteurs-fusibles (déclenchement par le perceur).			

7.6.1.4 Caractéristiques générales du circuit d'essai

Les essais de coupure doivent être réalisés en courant alternatif monophasé et sur des fusibles unipolaires.

Lorsqu'il est difficile, en raison des limitations de la station d'essai, de maintenir la pleine valeur de la tension de rétablissement pendant la durée spécifiée, le circuit d'essai peut être basculé sur une source auxiliaire. Cette permutation ne doit pas être effectuée dans les 10 s suivant l'interruption du courant. Toute interruption nécessaire du circuit pour réaliser la permutation ne doit pas dépasser 0,2 s. La source auxiliaire doit être capable de fournir un courant d'au moins 1 A, tout en maintenant la valeur de la tension de rétablissement pendant

le reste de la durée spécifiée. Tout réamorçage du fusible pendant la période de maintien de la tension (c'est-à-dire une augmentation du courant de fuite à travers le fusible atteignant 1 A ou plus) doit être considéré comme une interruption non réussie du fusible. La surveillance du courant peut être réalisée par toute méthode appropriée. Une méthode acceptable est de déclencher le disjoncteur utilisé pour protéger la source auxiliaire.

Les éléments du circuit utilisés pour ajuster le courant et le facteur de puissance doivent être en série les uns avec les autres et avec le fusible, comme représenté aux Figure 7 et Figure 8. Les bobines d'inductance susceptibles d'être saturées ne doivent pas être utilisées.

La fréquence du circuit d'essai doit être comprise entre 48 Hz et 62 Hz.

Il est recommandé de ne pas avoir de distorsion de la tension de rétablissement à fréquence industrielle qui puisse être facilement constatée lors de l'examen de l'oscillogramme. La forme d'onde du circuit d'essai doit satisfaire aux exigences d'une tension sinusoïdale, comme spécifié dans l'IEC 60060-1.

Un système de mesure ayant une réponse en fréquence adéquate doit être prévu pour mesurer la tension de coupure pendant les suites d'essais 1, 2 et I_t . Pour la suite d'essais 3, ce système de mesure peut être remplacé par un éclateur à sphère ou par un dispositif ayant une réponse équivalente.

La protection contre les tensions de coupure utilisée dans le circuit d'essai doit être réalisée de telle façon qu'aucun fonctionnement ne se produise pendant le fonctionnement normal du fusible, étant donné qu'une dérivation à travers un tel dispositif de protection pourrait réduire les contraintes sur le fusible.

7.6.1.5 Tension transitoire de rétablissement (TTR)

7.6.1.5.1 Représentation de la TTR

La forme d'onde des tensions transitoires de rétablissement est variable suivant la configuration des circuits réels.

Pour les fusibles relevant du domaine d'application du présent document, la tension transitoire de rétablissement a la forme d'une oscillation amortie à une seule fréquence, ou une forme proche d'une telle oscillation. Cette forme d'onde est suffisamment bien décrite par une enveloppe (tracé de référence) constituée par deux segments de droite définis par deux paramètres (voir Annexe A).

La valeur capacitive de l'installation du côté de l'alimentation du fusible réduit la vitesse d'accroissement de la tension pendant les quelques premières microsecondes de la TTR. Il en est tenu compte par l'introduction d'un retard tubage (t_d) et d'un segment de droite définissant le retard.

Les paramètres suivants sont utilisés pour représenter les TTR (voir Figure 4):

- a) u_c : crête de tension de la TTR en kilovolts;
- b) t_3 : temps pour atteindre la tension u_c en microsecondes.

Ceci donne le tracé de référence OAC à la Figure 4.

Un segment de droite définissant le retard, partant du point situé sur l'axe des temps correspondant au retard assigné t_d et se développant parallèlement au premier segment de droite du tracé de référence de la TTR jusqu'à un point correspondant à une tension spécifiée u' (et à un temps t' associé).

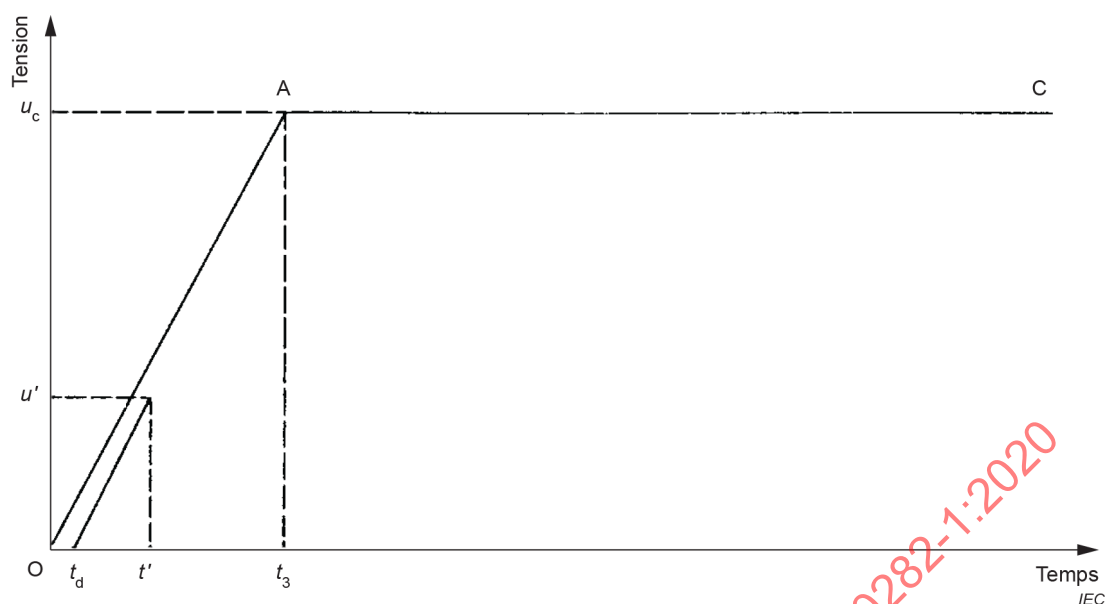


Figure 4 – Représentation d'une TTR spécifiée par un tracé de référence à deux paramètres et par un segment de droite définissant un retard

7.6.1.5.2 Exigences générales relatives à la TTR

L'onde de la tension transitoire de rétablissement présumée du circuit d'essai doit satisfaire aux deux exigences suivantes:

exigence a): son enveloppe ne doit jamais être située au-dessous du tracé de référence spécifié;

Il est précisé que l'accord du fabricant est exigé pour fixer de combien l'enveloppe peut dépasser le tracé de référence spécifié (voir le quatrième alinéa de 7.1).

exigence b): sa partie initiale ne doit pas traverser le segment de droite spécifié définissant le retard (le cas échéant).

Ces exigences sont représentées à la Figure 5.

Les valeurs normalisées des tracés de référence et des segments de droite spécifiées définissant le retard pour les diverses suites d'essais sont celles qui suivent.

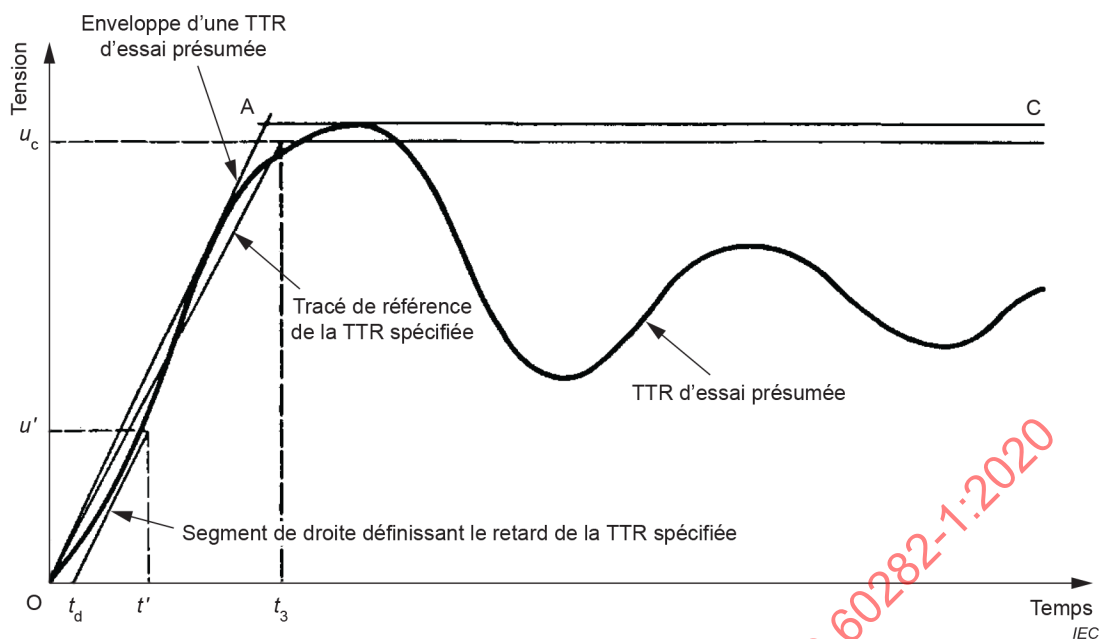


Figure 5 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à deux paramètres et répondant aux conditions imposées pour l'essai de type

7.6.1.5.3 TTR pour la suite d'essais 1

En principe, les essais sont réalisés avec les valeurs normalisées de la TTR spécifiées en 7.6.1.5.1 et dans les Tableau 12 ou Tableau 13. Cependant, comme indiqué dans l'Annexe B, les fusibles limiteurs de courant ne sont pas sensibles aux caractéristiques de la TTR sauf lorsqu'une tension d'arc très élevée est atteinte immédiatement après le début de l'arc. En conséquence et pour des facilités d'essai, les essais peuvent être réalisés comme décrit ci-après.

Un premier essai est réalisé avec une TTR présumée pratique quelconque et avec un début d'arc compris entre 65° et 90° électriques après le zéro de tension. Si, au cours de cet essai, la tension d'arc n'atteint pas sa crête la plus élevée dans un temps inférieur ou égal à $2 t_3$ après le début de l'arc, cet essai est valable et la suite d'essais 1 est achevée avec le même circuit. Sinon, le circuit doit être modifié pour présenter une TTR dont l'enveloppe ne sera à aucun instant au-dessous du tracé de référence spécifié dans les Tableau 12 ou Tableau 13 et dont la partie initiale ne traversera pas le segment de droite définissant le retard spécifié. Tous les essais de la suite d'essais 1 doivent être réalisés sur ce nouveau circuit.

**Tableau 12 – Valeurs normalisées de la TTR assignée pour I_1 –
Tensions assignées de la série I**

Tension assignée	Paramètres de base		Valeurs dérivées			
	Valeur de crête de la tension ^a	Temps	Retard ^b	Tension ^c	Temps ^d	Vitesse d'accroissement
U_r	u_c	t_3	t_d	u'	t'	u_c/t_3
kV	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
3,6	6,2	40	6	2,06	19,4	0,154
7,2	12,4	52	7,8	4,1	25	0,238
12	20,6	60	9	6,9	29	0,345
17,5	30	72	10,8	10	35	0,415
24	41	88	13,2	13,8	42,5	0,47
36	62	108	16,2	20,6	52	0,57
40,5	69	115	17,2	23	55,5	0,60
52	89	132	19,8	29,5	63,8	0,68
72,5	124	168	8,4	41,5	64,4	0,74

^a $u_c = 1,5 \times 1,4 \times \sqrt{2/3} U_r$ (en utilisant une valeur de premier pôle qui coupe de 1,5 et un facteur d'amplitude de 1,4)
^b $t_d = 0,15 t_3$ pour $U_r \leq 52$ kV et $t_d = 0,05 t_3$ pour $U_r > 52$ kV
^c $u' = 1/3 u_c$
^d $t' = (0,15 + 1/3) t_3$ pour $U_r \leq 52$ kV et $t' = (0,05 + 1/3) t_3$ pour $U_r > 52$ kV

**Tableau 13 – Valeurs normalisées de la TTR assignée pour I_1 –
Tensions assignées de la série II**

Tension assignée	Paramètres de base		Valeurs dérivées			
	Valeur de crête de la tension ^a	Temps	Retard ^b	Tension ^c	Temps ^d	Vitesse d'accroissement
U_r	u_c	t_3	t_d	u'	t'	u_c/t_3
kV	kV	µs	µs	kV	µs	kV/µs
2,8	5,5	39	5,9	1,8	18,9	0,141
5,5	10,9	46	6,9	3,6	22,2	0,237
8,3	16,4	54	8,1	5,5	26,1	0,304
15,5	30,7	67	10,0	10,2	32,2	0,458
17,2	34,1	70	10,5	11,4	33,8	0,487
23,0	45,5	84	12,6	15,2	40,6	0,542
27,0	53,5	93	14,0	17,8	45,0	0,575
38,0	75,2	111	16,6	25,1	53,6	0,677
48,3	95,6	125	18,8	31,9	60,4	0,765
72,5	143,5	165	8,3	47,8	63,3	0,870

^a $u_c = 1,0 \times 1,4 \times \sqrt{2} U_r$ (en utilisant la tension entre phases et un facteur d'amplitude de 1,4, voir Tableau 11, Note b)
^b $t_d = 0,15 t_3$ pour $U_r \leq 48,3$ kV et $t_d = 0,05 t_3$ pour $U_r > 48,3$ kV
^c $u' = 1/3 u_c$
^d $t' = (0,15 + 1/3) t_3$ pour $U_r \leq 48,3$ kV et $t' = (0,05 + 1/3) t_3$ pour $U_r > 48,3$ kV

Les valeurs indiquées dans les tableaux sont des valeurs présumées et tiennent compte de la réduction de la tension de rétablissement.

Ces valeurs doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur pour les réseaux monophasés utilisant des fusibles soumis à essai sous des tensions de la série I ou lorsque les fusibles sont destinés à des installations où les conditions sont plus sévères.

7.6.1.5.4 TTR pour la suite d'essais 2

Les essais doivent être réalisés avec les valeurs de TTR présumée spécifiées dans les Tableau 14 ou Tableau 15 (voir Annexe B).

L'onde de la TTR présumée du circuit d'essai doit satisfaire aux exigences suivantes:

- a) sa valeur maximale de crête ne doit pas être inférieure au paramètre u_c spécifié;
- b) le segment ascendant de son enveloppe doit être compris entre les deux lignes spécifiées par la tolérance de t_3 .

NOTE Le segment de droite définissant le retard n'est pas spécifié sachant que la partie initiale de la TTR est sans importance pour le comportement du fusible (voir Annexe B).

Il peut être difficile d'obtenir les coordonnées de temps spécifiées, particulièrement pour les fusibles dont le courant d'essai I_2 est faible. Dans de tels cas, sous réserve d'une entente avec le fabricant, de plus grandes valeurs de t_3 sont acceptables; il convient toutefois qu'elles soient indiquées dans le rapport d'essai.

Tableau 14 – TTR pour la suite d'essais 2 – Tensions assignées de la série I

Tension assignée	Paramètres de base		Vitesse d'accroissement
	Valeur de crête de la tension	Temps	
U_r	u_c^a	t_3	u_c/t_3
kV	kV	μs	kV/ μs
3,6	6,6	120 à 160	0,055 à 0,041
7,2	13,2	156 à 208	0,084 à 0,063
12	22	180 à 240	0,122 à 0,091
17,5	32	216 à 288	0,148 à 0,111
24	44	264 à 352	0,167 à 0,125
36	66	324 à 432	0,203 à 0,152
40,5	74	345 à 460	0,214 à 0,160
52	96	396 à 528	0,242 à 0,181
72,5	133	504 à 672	0,265 à 0,199
^a $u_c = 1,5 \times 1,5 \times \sqrt{\frac{2}{3}} U_r$ (facteur de premier pôle qui coupe de 1,5 et facteur d'amplitude de 1,5)			

Tableau 15 – TTR pour la suite d'essais 2 – Tensions assignées de la série II

Tension assignée	Paramètres de base		Vitesse d'accroissement
	Valeur de crête de la tension	Temps	
U_r	u_c^a	t_3	u_c/t_3
kV	kV	μs	kV/ μs
2,8	5,9	111 à 148	0,053 à 0,040
5,5	11,7	138 à 184	0,085 à 0,064
8,3	17,6	162 à 216	0,109 à 0,081
15,5	32,9	201 à 268	0,164 à 0,123
17,2	36,5	210 à 280	0,174 à 0,130
23	48,8	252 à 336	0,194 à 0,145
27	57,3	279 à 372	0,205 à 0,154
38	80,6	333 à 444	0,242 à 0,182
48,3	102,5	381 à 508	0,269 à 0,202
72,5	153,8	504 à 672	0,305 à 0,229

^a $u_c = 1,0 \times 1,5 \times \sqrt{2} U_r$ (en utilisant la tension entre phases et un facteur d'amplitude de 1,5, voir Tableau 11, Note b)

7.6.1.5.5 TTR pour la suite d'essais 3

Les caractéristiques de la TTR ne sont pas spécifiées; la réactance du circuit (qui peut être la réactance du transformateur ou la réactance de l'ensemble transformateur-réactance(s)) doit être shuntée par une résistance R_p de valeur sensiblement égale à 40 fois la valeur de la réactance. Toutefois, si cette valeur ne donne pas au moins l'amortissement critique, elle doit être diminuée de façon à obtenir cet amortissement critique (voir Annexe B).

L'amortissement critique est obtenu quand

$$R = \frac{1}{2} \frac{f_0}{f_N} X$$

où

f_0 est la fréquence propre du circuit sans amortissement complémentaire;

f_N est la fréquence industrielle;

X est la réactance du circuit à fréquence industrielle.

7.6.1.6 Mise en place de l'équipement**7.6.1.6.1 Fusibles destinés à être utilisés dans l'air**

Pour les suites d'essais 1 et 2, la disposition des conducteurs doit être celle qui est représentée à la Figure 6 afin de reproduire les efforts électrodynamiques qui peuvent se produire en service. Pour empêcher que tout mouvement des conducteurs ne provoque des contraintes mécaniques excessives sur le socle, les conducteurs doivent être soigneusement maintenus à une distance égale à la hauteur du support isolant si cette hauteur dépasse 0,50 m, ou à 0,50 m si la hauteur du support isolant est inférieure ou égale à 0,50 m. Les plâtres des connexions doivent être placés immédiatement après les points de maintien. Aucune disposition n'est précisée pour la suite d'essais 3. Le fusible doit être soumis à essai en position verticale sauf s'il est reconnu que la position horizontale est la plus sévère, auquel

cas le fusible doit être soumis à essai horizontalement. Si un élément de remplacement n'est pas généralement monté sur un socle, le montage et l'orientation doivent être spécifiés par le fabricant.

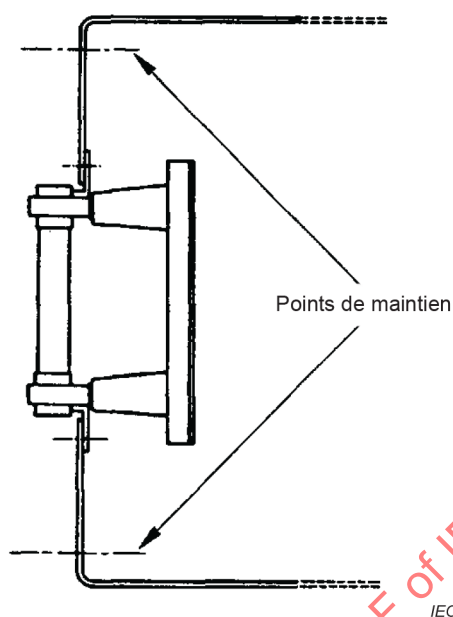


Figure 6 – Essais de coupure – Disposition de l'équipement

7.6.1.6.2 Fusibles destinés à être utilisés dans des cuves remplies de liquide

Les suites d'essais 1, 2, 3, et I_t peuvent être effectuées dans l'air ou dans une cuve remplie de liquide. Etant donné que les essais dans l'air sont plus contraignants que dans un liquide isolant, les essais dans l'air ne peuvent être substitués aux essais dans un liquide isolant qu'à la suite de l'accord du fabricant de fusibles. Dans le cas d'une non-coupure, la suite d'essais pertinente peut être répétée avec le fusible installé dans une cuve remplie de liquide en utilisant une disposition de conducteurs d'essai appropriée à cette cuve. La cuve remplie de liquide peut être la même que celle qui est utilisée pour les essais d'échauffement, convenablement consolidée si nécessaire, les éléments de remplacement étant déplacés pour égaliser les distances diélectriques à la cuve, et en utilisant des contacts de fusibles appropriés.

7.6.2 Procédure d'essai

7.6.2.1 Etalonnage du circuit d'essai

Le fusible ou l'élément de remplacement soumis à essai doit être remplacé par une barrette d'impédance négligeable comme représenté aux Figure 7 et Figure 8.

Le circuit doit être ajusté pour donner le courant présumé spécifié. Cela doit être vérifié par un enregistrement oscillographique ou similaire.

Pour les essais directs de la suite d'essais 3, il peut ne pas être nécessaire de faire un étalonnage du circuit d'essai, mais, lorsque cela est fait, le courant peut être mesuré au moyen d'un ampèremètre en variante d'un enregistrement oscillographique.

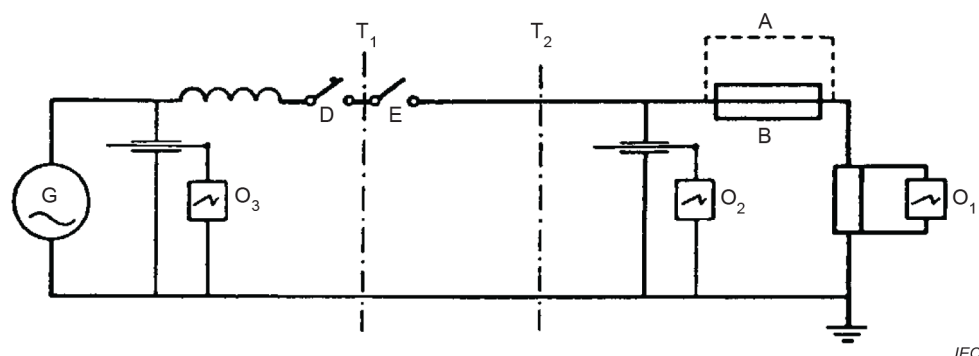
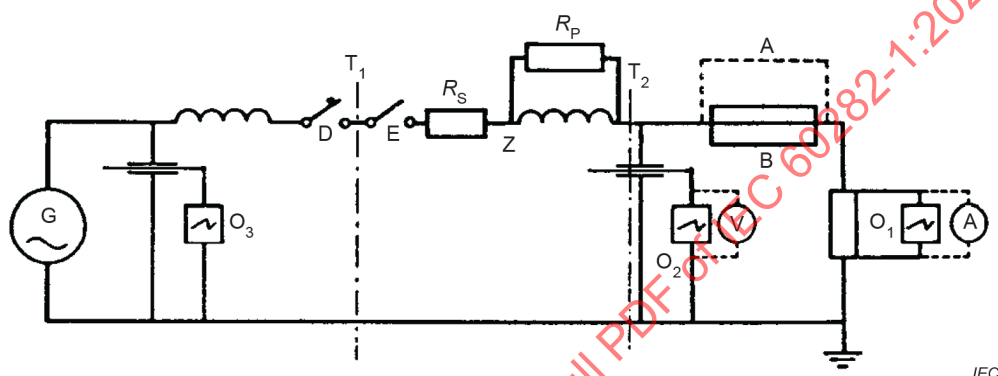


Figure 7 – Essais de coupure – Schéma type pour les suites d'essais 1 et 2



Légende pour les Figures 7 et 8

A Connexion amovible utilisée pour l'étalonnage	O_3 Mesure de la tension de référence
B Fusible soumis à essai	T_1 et T_2 Emplacements possibles du transformateur
D Disjoncteur protégeant la source	Z Impédance réglable
E Court-circuiteur	R_p Résistance parallèle réglable
O_1 Mesure du courant	R_s Résistance série réglable
O_2 Mesure de la tension de rétablissement	

Figure 8 – Essais de coupure – Schéma type pour la suite d'essais 3

7.6.2.2 Méthode d'essai

La barrette A est enlevée et remplacée par le fusible ou l'élément de remplacement B soumis à essai.

Le court-circuiteur E est fermé à un instant tel que les conditions spécifiées dans le Tableau 11 soient remplies.

Pour les suites d'essais 1, 2, 3 et I_t , les tensions de coupure doivent être mesurées. Pour les suites d'essais 1 et 2, les courants coupés limités doivent être déterminés.

Dans la suite d'essais 3, un ampèremètre ne doit pas être utilisé, sauf pour mesurer le courant pendant des essais de durées de préarc longues. Un enregistrement oscillographique ou un système de mesure similaire doit être utilisé pour mesurer le courant immédiatement avant l'interruption.

Après le fonctionnement du fusible, la tension de rétablissement doit être maintenue à ses bornes pendant les durées spécifiées dans le Tableau 11. Les toutes premières périodes doivent être enregistrées par un oscillographe ou un système similaire tandis que les suivantes peuvent être lues sur un voltmètre.

Au cours de cette période, la fréquence industrielle peut tomber au-dessous de la valeur minimale spécifiée.

7.6.2.3 Interprétation des oscillogrammes

Pour les suites d'essais 1 et 2, le courant coupé présumé doit être la valeur efficace de la composante périodique du courant, mesurée une demi-période après le début du court-circuit au cours de l'essai d'étalonnage (voir Figure 9 et Figure 10).

Pour la suite d'essais 3 et les essais avec I_t , le courant coupé doit être la valeur efficace du courant symétrique, mesurée à l'instant du début de l'arc au cours de l'essai de coupure (voir Figure 11).

La valeur de la tension de rétablissement à fréquence industrielle est mesurée entre la crête de la deuxième demi-onde non influencée et la droite tracée entre les crêtes des demi-ondes précédente et suivante (voir Figure 9, Figure 10 et Figure 11).

7.6.2.4 Paramètres à utiliser au cours des essais

Les paramètres à utiliser au cours des essais sont donnés dans le Tableau 11.

Si un essai est réalisé dans des conditions plus sévères que celles spécifiées et s'il est satisfaisant, cet essai doit être valable.

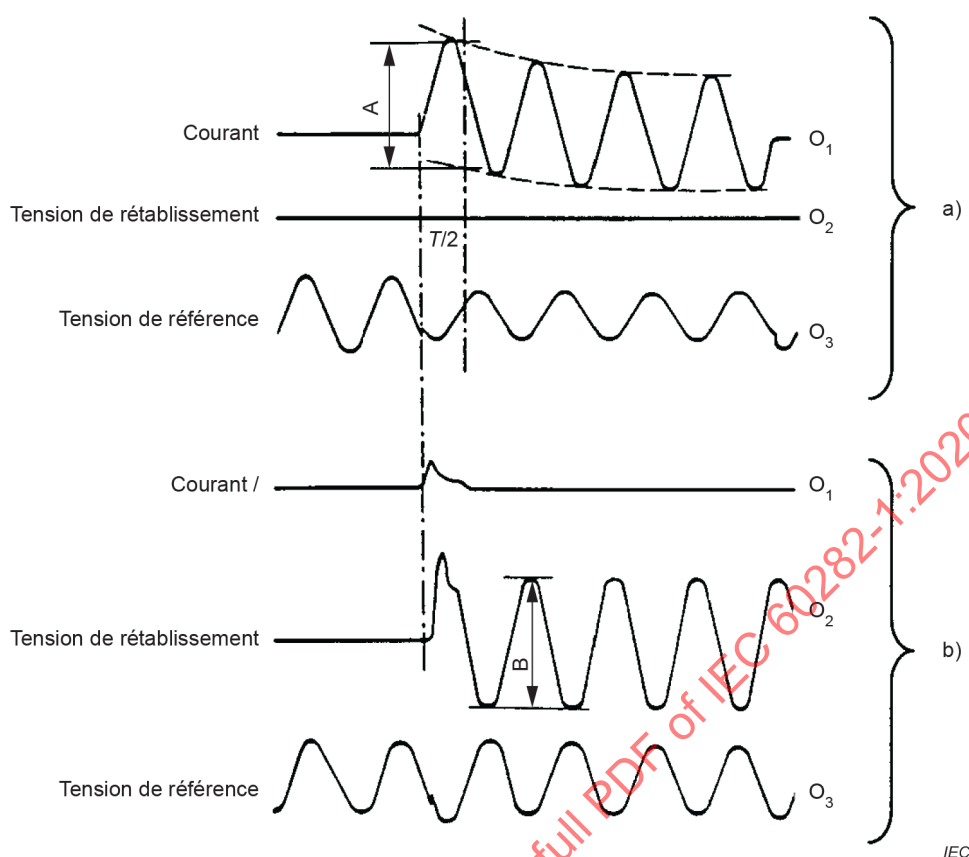
7.6.3 Méthodes d'essai en variante pour la suite d'essais 3

7.6.3.1 Généralités

La suite d'essais 3 peut être réalisée à l'aide d'une seule source à haute tension pendant tout l'essai (comme dans la suite d'essais 1 ou la suite d'essais 2).

Toutefois, dans les cas où la durée de préarc est longue et/ou la capacité de la station d'essais est limitée, les essais de la suite d'essais 3 peuvent être réalisés en deux parties. Pendant la première partie de l'essai, le courant est fourni par une source à basse tension. Pour la deuxième partie, qui inclut la coupure du courant par le fusible, le courant est fourni par une source à haute tension.

Il est aussi admissible de réaliser un essai en deux parties en utilisant une seule source à haute tension avec un facteur de puissance de plus faible valeur pendant la période de fusion. Dans un tel cas, il faut que le passage au facteur de puissance nécessaire se fasse avant l'apparition de l'arc.

**Légende:**O₁ Mesure du courantO₂ Mesure de la tension de rétablissementO₃ Mesure de la tension de référence

a) Etalonnage

b) Essai de coupure

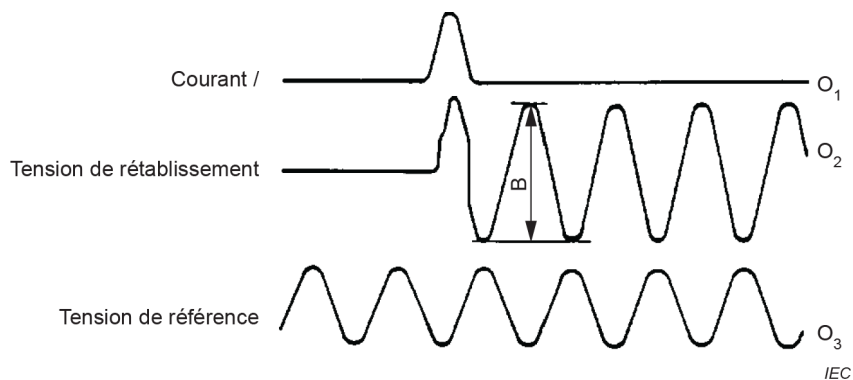
T/2 Un demi-cycle

Valeur efficace de la composante périodique du courant coupé présumé $I = \frac{A}{2\sqrt{2}}$

Tension de rétablissement $V = \frac{B}{2\sqrt{2}}$

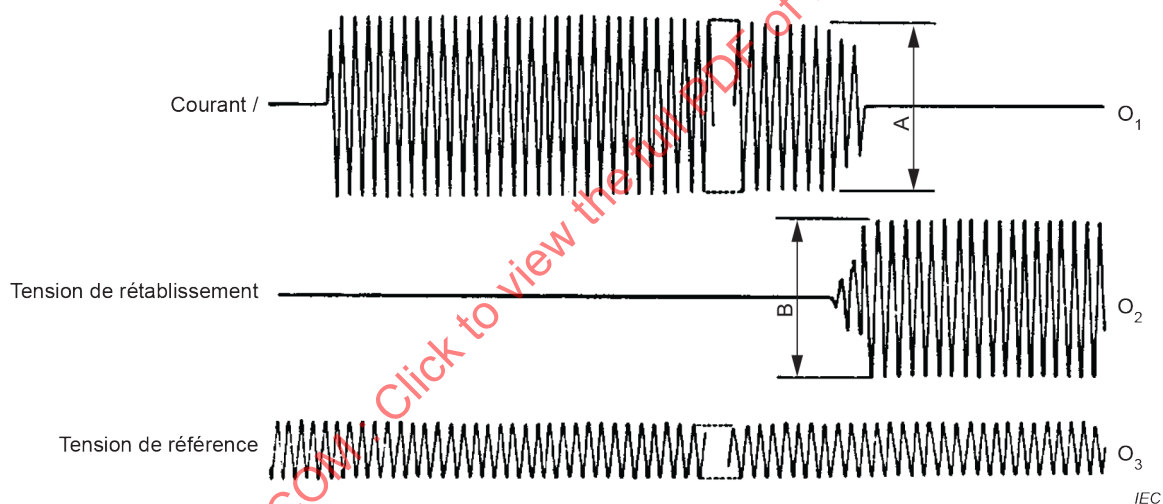
NOTE Les Figure 9, Figure 10 et Figure 11 sont des illustrations; les courants ne sont pas représentés avec la même échelle.

Figure 9 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes pour la suite d'essais 1



- O₁ Mesure du courant
O₂ Mesure de la tension de rétablissement
O₃ Mesure de la tension de référence

Figure 10 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes de la suite d'essais 2 (traces d'étalonnage comme indiquées en a) de la Figure 9)



Légende

- O₁ Mesure du courant
O₂ Mesure de la tension de rétablissement
O₃ Mesure de la tension de référence

Figure 11 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes pour la suite d'essais 3

7.6.3.2 Exigences du circuit d'essais

Les exigences du circuit d'essai sont les suivantes.

- a) Une source de puissance à basse tension capable de faire circuler le courant souhaité dans le fusible à l'essai et un moyen de maintenir la valeur du courant constante pendant l'essai.

- b) Une source à haute tension telle que décrite en 7.6.1.4.

La valeur du courant de la source à haute tension est le courant I_3 tel que défini en 7.6.1.2.

- c) Un dispositif manuel ou automatique permettant de commuter au moment souhaité pendant l'essai de la source à basse tension à la source à haute tension.

L'intervalle pendant lequel le courant est interrompu ne doit pas dépasser 0,2 s. Le courant ne doit pas comporter d'asymétrie significative au moment du passage à la source à haute tension.

De façon générale, il convient que le passage d'une source à l'autre se produise pendant qu'il circule encore du courant dans au moins un élément fusible. Pour un fusible à plusieurs éléments fusibles, cela correspond à la période pendant laquelle les éléments fusionnent successivement; ce qui est observable par l'augmentation en escalier de la tension aux bornes du fusible.

- d) Il est admis, avec l'accord du fabricant, de retarder le changement de source jusqu'à ce que tous les éléments (sauf l'élément du percuteur, lorsqu'il est présent) aient fusionné. Tous les autres paramètres indiqués en c) s'appliquent toujours. Un percuteur thermique peut s'être déployé au courant de la période de préarc, mais sous réserve que l'élément du percuteur soit intact, ceci est acceptable.

Cette procédure est particulièrement utile lorsqu'il est difficile de détecter le début de la fusion de l'élément ou lorsque la valeur du courant de préarc doit être significativement plus élevée que celle déterminée pour la suite d'essais 3 (voir 7.6.3.3).

Toutefois, puisque cette méthode est considérée comme plus contraignante pour le fusible que la méthode c), il est admis, dans les cas de défaillance, de répéter les essais de la suite d'essais 3 en utilisant la méthode c) puisque celle-ci se rapproche plus des conditions réelles de service.

7.6.3.3 Valeur du courant d'essai de préarc pour la suite d'essais 3

Les valeurs du courant d'essai de préarc sont celles qui suivent.

- a) Pour les essais sur les fusibles associés, où la durée de préarc est inférieure à 1 h, il convient que le courant de la source à basse tension soit ajusté à la valeur I_3 et maintenu à cette valeur pendant tout l'essai.
- b) Pour les fusibles à usage général, où une durée minimale de fusion de 1 h est nécessaire, le courant de la source à basse tension est ajusté à la valeur I_3 , mais, après 1 h, il peut être augmenté jusqu'à 15 % au-dessus de I_3 pour provoquer la fusion.
- c) Pour les fusibles à coupure intégrale, où il est exigé que la valeur de I_3 soit égale au courant assigné du fusible, la source à basse tension peut être ajustée à une valeur supérieure à I_3 pendant la partie basse tension de l'essai de façon à éviter une période inutilement longue d'essai, à la condition que la durée résultante de préarc ne soit pas inférieure à 1 h. Le courant de la source à basse tension ne doit toutefois pas dépasser I_3 de plus de 42 % pendant cette période de préarc.

Après une période de 1 h, le courant de la source basse tension peut être à nouveau augmenté d'au maximum 15 % pour provoquer la fusion.

Si cette valeur plus grande de courant produit encore un temps d'essais non convenable, il est admis de placer l'élément de remplacement dans une enceinte à refroidissement limité, toujours à la condition qu'une durée de fusion d'au moins 1 h soit respectée.

Dans les cas où l'utilisation d'une telle enceinte n'est pas suffisante pour provoquer la fusion dans une période convenable, la méthode d'essai décrite à l'Annexe E peut être utilisée.

7.6.4 Essais de coupure pour les éléments de remplacement d'une série homogène

7.6.4.1 Caractéristiques des éléments de remplacement d'une série homogène

Sont considérés comme formant une série de construction homogène les éléments de remplacement dont les caractéristiques répondent aux critères suivants.

- a) La tension assignée, le courant maximal de coupure assigné et la fréquence assignée doivent être les mêmes.
- b) Tous les matériaux utilisés doivent être identiques, y compris le matériau de remplissage et sa granulométrie.
- c) Toutes les dimensions de l'élément de remplacement sauf la section et le nombre des éléments fusibles doivent être identiques ainsi que cela est explicité ci-après de d) à h).
- d) Dans n'importe lequel des éléments de remplacement, tous les éléments fusibles principaux doivent être identiques.
- e) La loi régissant la variation de la section des éléments fusibles individuels le long de ces éléments doit être la même.
- f) Toutes les variations en épaisseur, largeur et nombre doivent être une fonction monotone ¹ du courant assigné. En particulier, il n'est pas permis de compenser une augmentation de section par la réduction du nombre des éléments fusibles et vice versa.
- g) La variation éventuelle de l'espacement entre les éléments fusibles individuels et de l'espacement entre l'élément ou les éléments fusibles et l'enveloppe doit être une fonction monotone du courant assigné.
- h) Un élément fusible particulier utilisé pour un dispositif indicateur ou un percuteur n'a pas à répondre aux points e) et f) ci-dessus, mais doit être le même pour tous les éléments de remplacement.
- i) Lorsqu'un élément fusible est constitué de composants en série (par exemple des fusibles exigeant des essais à I_t), les deux parties de l'élément doivent être conformes aux exigences de monotonie de f) et de g), mais entre les valeurs assignées, une ou plusieurs parties peuvent ne pas changer. Si une partie de l'élément ne joue aucun rôle dans l'interruption d'un courant d'essai particulier, il n'est pas nécessaire de la prendre en compte lors de l'évaluation des exigences d'homogénéité pour ce courant.

7.6.4.2 Exigences d'essai.

Dans une série homogène d'éléments de remplacement, il suffit d'effectuer les essais de coupure conformément au Tableau 16.

¹ Fonction monotone: fonction qui varie de façon continue dans la même direction quand la variable varie dans une direction donnée.

Tableau 16 – Exigences d'essais de coupure pour les éléments de remplacement d'une série homogène

Suites d'essais	Éléments de remplacement à soumettre à essai (les croix indiquent les essais à effectuer)		
	A	B	C
1	X		X
2 ^a	X ^c		X
3 ^b	X ^d	X ^d	X

^a Les courants d'essai I_2 des éléments de remplacement A et C sont choisis en fonction des courants assignés respectifs de ces éléments de remplacement.

^b Dans le cas d'une série homogène d'éléments de remplacement utilisant plusieurs éléments fusibles principaux, il convient que l'élément de remplacement ayant le plus petit courant assigné comprenne au moins deux éléments fusibles principaux individuels en plus de l'élément éventuel utilisé pour le fonctionnement du percuteur. Un fusible utilisant un seul élément fusible forme une série homogène différente de ceux qui utilisent plusieurs éléments.

^c Cet essai n'est exigé que si la section des éléments fusibles individuels est inférieure à celle des éléments de remplacement C.

^d Cet essai n'est exigé que si le rapport I_3/s des éléments de remplacement A ou B est plus petit que celui de l'élément de remplacement C. Dans ce cas, l'élément de remplacement ayant le plus petit rapport I_3/s est choisi pour la suite d'essais 3.

Les symboles utilisés dans le Tableau 16 ont la signification suivante:

- A: élément de remplacement du plus petit courant assigné;
 B: élément de remplacement quelconque d'un courant assigné compris entre A et C;
 C: élément de remplacement du plus grand courant assigné;
 s: section de chacun des éléments fusibles individuels.

7.6.4.3 Interprétation des essais de coupure

Si les essais réalisés selon le Tableau 16 donnent des résultats conformes aux exigences de 6.1.3, les éléments de remplacement d'un courant assigné quelconque, dans la série de construction homogène, doivent être considérés comme satisfaisant à la présente spécification en ce qui concerne la coupure.

Si un élément de remplacement ne fonctionne pas de façon satisfaisante aux termes de 6.1.3 au cours d'une ou de plusieurs séries d'essais, cet élément de remplacement doit être éliminé de la série homogène, mais une telle défaillance n'entraîne pas nécessairement le rejet des autres éléments de remplacement de courants assignés différents.

Le fabricant doit fournir des valeurs de courant minimal de coupure pour les éléments de remplacement associés de tous les courants assignés disponibles dans la série homogène. Ces valeurs doivent être basées sur les essais de coupure de la suite d'essais 3 de l'élément de remplacement C de la série. Les valeurs de courant minimal de coupure pour les autres courants assignés dans la même série homogène peuvent être déterminées par le calcul. La densité de courant par élément fusible principal (rapport I_3/s) doit être supérieure ou égale à celle de l'élément de remplacement C.

7.6.5 Qualification par interpolation d'une série homogène d'éléments de remplacement associés

Si deux séries homogènes X et Z de tensions assignées différentes U_X et U_Z ont été soumises à essai avec succès, une troisième série Y de tension assignée intermédiaire U_Y n'a pas, en principe, à être soumise à essai si les conditions suivantes s'appliquent.

- a) La tension assignée U_Z est inférieure ou égale à $2 U_X$.
- b) Les courants assignés de Y sont dans la limite des courants assignés communs aux séries X et Z déjà soumises à essai.
- c) Les courants maximaux de coupure assignés aux tensions assignées U_X et U_Z sont les mêmes, ou, s'ils sont différents, seule la plus faible valeur est présumée s'appliquer à U_Y .
- d) Les courants minimaux de coupure assignés aux tensions assignées U_X et U_Z des éléments de remplacement de même courant assigné sont les mêmes, ou, s'ils sont différents, seule la valeur la plus élevée est présumée s'appliquer à U_Y .
- e) Les fréquences assignées sont les mêmes.
- f) Tous les matériaux sont identiques.
- g) Toutes les dimensions sauf la longueur de l'élément de remplacement et celle des éléments fusibles sont identiques.
- h) Pour chaque courant assigné, le nombre des éléments fusibles individuels et leur section sont les mêmes; la loi régissant la variation de la section exprimée par le nombre de variations par unité de longueur doit rester identique lors de l'interpolation de la longueur des éléments fusibles de tensions assignées intermédiaires.
- i) La longueur des éléments fusibles est déduite de celle des éléments déjà soumis à essai, par interpolation linéaire en fonction de la tension assignée déjà soumise à essai.

7.6.6 Acceptation d'une série homogène d'éléments de remplacement de longueurs différentes

Pour s'adapter aux fixations de différents types d'interrupteurs-fusibles ou de socles, il est parfois nécessaire de disposer du même modèle d'élément de remplacement dans deux longueurs d'enveloppe ou plus. En principe, si la version la plus courte a été complètement soumise à essai, il n'est pas considéré nécessaire de soumettre à essai les versions d'enveloppes plus longues à condition que les exigences ci-dessous soient satisfaites.

Les caractéristiques de coupure déclarées et les valeurs assignées fondées sur des essais réalisés sur une série homogène conformément à 7.6.2 et 7.6.4 sont valides pour d'autres séries homogènes utilisant des enveloppes de longueurs supérieures, pourvu que les conditions suivantes soient remplies.

- a) La longueur des enveloppes de la gamme d'éléments non soumise à essai ne dépasse pas 1,6 fois la longueur de la gamme soumise à essai pour la même tension assignée. Le pas d'enroulement des éléments fusibles principaux peut être allongé, mais leur longueur doit être la même que dans le fusible soumis à essai de la série.
- b) La gamme non soumise à essai est conforme en tout point à 7.6.4.1 sauf la longueur de l'enveloppe.
- c) Le courant assigné maximal de gamme non soumise à essai n'excède pas celui de la gamme soumise à essai et le plus petit courant assigné de la gamme non soumise à essai n'est pas inférieur à celui de la gamme soumise à essai.

7.7 Essais de vérification de la caractéristique temps-courant

7.7.1 Règles d'essai

7.7.1.1 Généralités

Les essais sont réalisés avec un courant compris entre 48 Hz et 62 Hz et doivent être conformes aux règles spécifiées en 7.3 ainsi qu'aux règles suivantes.

7.7.1.2 Température de l'air ambiant

La caractéristique temps-courant doit être vérifiée à une température de l'air ambiant quelconque comprise entre 15 °C et 30 °C.

Au début de chaque essai, le fusible doit être approximativement à la température de l'air ambiant.

7.7.1.3 Mise en place de l'équipement

Les essais doivent être réalisés avec la même disposition de l'équipement que pour les essais d'échauffement (voir 7.5.1.2), s'ils sont effectués séparément, ou avec la disposition utilisée pour les essais de coupure (voir 7.6.1.5).

7.7.2 Procédures d'essai

7.7.2.1 Essais de vérification de la durée de préarc

Les essais de vérification de la durée de préarc peuvent être faits à une tension quelconque convenable, le circuit d'essai étant prévu de telle façon que le courant traversant le fusible soit fondamentalement périodique et maintenu à une valeur sensiblement constante. Si une caractéristique temps-courant pour des durées inférieures à 0,010 s est à produire, la durée virtuelle peut être calculée avec des courants non périodiques.

Les caractéristiques temps-courant obtenues lors des essais de coupure peuvent être utilisées.

7.7.2.2 Plage de temps

Les essais doivent être faits dans les plages de temps suivantes:

- pour les fusibles associés: de 0,01 s à au moins 600 s;
- pour les fusibles à usage général et à coupure intégrale: de 0,01 s à au moins 1 h. Pour les fusibles à coupure intégrale, il convient que la plage de temps s'étende de préférence au-delà de 1 h.

7.7.2.3 Mesure du courant

Le courant traversant le fusible durant ces essais doit être mesuré au moyen d'un ampèremètre, d'un oscillographe ou de tout autre instrument convenable.

7.7.2.4 Détermination des temps

Lorsque les temps sont enregistrés par un oscillographe, les durées de préarc doivent être soit des durées virtuelles, soit des durées réelles en indiquant la méthode choisie.

7.8 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Les fusibles relevant du domaine d'application du présent document sont insensibles aux perturbations électromagnétiques et par conséquent aucun essai d'immunité n'est nécessaire. Toute perturbation électromagnétique qui pourrait être générée par le fusible se limite au moment de son fonctionnement. Aucun autre essai de compatibilité électromagnétique n'est exigé pourvu que les valeurs de la tension de coupure obtenues aux essais de type ne dépassent pas celles indiquées dans les Tableau 7 et Tableau 8 du présent document.