

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



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

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



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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



**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 978-2-8322-1751-1

**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.**

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE



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

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
1 General.....	8
1.1 Scope.....	8
1.2 Normative references	8
2 Normal and special service conditions.....	8
2.1 Normal service conditions	8
2.2 Other service conditions	10
2.3 Special service conditions	10
2.4 Environmental behaviour	10
3 Terms and definitions	10
3.1 Electrical characteristics.....	10
3.2 Fuses and their component parts	13
3.3 Additional terms	15
4 Ratings and characteristics	16
4.1 General.....	16
4.2 Rated voltage (U_r).....	17
4.3 Rated insulation level (of a fuse-base).....	17
4.4 Rated frequency.....	18
4.5 Rated current of the fuse-base	18
4.6 Rated current of the fuse-link (I_r).....	19
4.7 Temperature-rise limits.....	19
4.8 Rated breaking capacity	20
4.8.1 Rated maximum breaking current (I_b).....	20
4.8.2 Rated minimum breaking current and class	21
4.9 Limits of switching voltage.....	21
4.10 Rated transient recovery voltage (rated TRV).....	23
4.10.1 General	23
4.10.2 Representation of TRV	24
4.10.3 Representation of rated TRV	24
4.11 Time-current characteristics	25
4.12 Cut-off characteristic	26
4.13 I^2t characteristics.....	26
4.14 Mechanical characteristics of strikers	26
4.15 Special requirement for Back-Up fuses intended for use in switch-fuse combination according to IEC 62271-105	27
4.15.1 General	27
4.15.2 Maximum body temperature under pre-arcing conditions	27
4.15.3 Maximum arcing withstand time	28
5 Design, construction and performance.....	28
5.1 General requirements with respect to fuse operation	28
5.1.1 General	28
5.1.2 Standard conditions of use	28
5.1.3 Standard conditions of behaviour.....	29
5.2 Identifying markings	29
5.3 Dimensions	30

6	Type tests	30
6.1	Conditions for making the tests	30
6.2	List of type tests	30
6.3	Common test practices for all type tests	31
6.3.1	General	31
6.3.2	Condition of device to be tested	31
6.3.3	Mounting of fuses	31
6.4	Dielectric tests	31
6.4.1	Test practices	31
6.4.2	Application of test voltage for impulse and power-frequency test	31
6.4.3	Atmospheric conditions during test	32
6.4.4	Lightning impulse voltage dry tests	32
6.4.5	Power-frequency voltage dry tests	32
6.4.6	Power-frequency wet tests.....	32
6.5	Temperature-rise tests and power-dissipation measurement	33
6.5.1	Test practices	33
6.5.2	Measurement of temperature	34
6.5.3	Measurement of power dissipation.....	34
6.6	Breaking tests	35
6.6.1	Test practices	35
6.6.2	Test procedure	41
6.6.3	Alternative test methods for Test Duty 3	44
6.6.4	Breaking tests for fuse-links of a homogeneous series	46
6.6.5	Acceptance of a homogeneous series of fuse-links by interpolation	47
6.6.6	Acceptance of a homogeneous series of fuse-links of different lengths	47
6.7	Tests for time-current characteristics.....	48
6.7.1	Test practices	48
6.7.2	Test procedures	48
6.8	Tests of strikers.....	48
6.8.1	General	48
6.8.2	Strikers to be tested	49
6.8.3	Operation tests	49
6.8.4	Test performance	49
6.9	Electromagnetic compatibility (EMC)	50
7	Special tests.....	50
7.1	General	50
7.2	List of special tests.....	50
7.3	Thermal shock tests	51
7.3.1	Test sample.....	51
7.3.2	Arrangement of the equipment.....	51
7.3.3	Test method	51
7.4	Power-dissipation tests for fuses not intended for use in enclosures	51
7.5	Waterproof test (ingress of moisture).....	51
7.5.1	Test conditions	51
7.5.2	Test sample.....	51
7.5.3	Test method	51
7.6	Tests for Back-Up fuses for use in switch-fuse combination of IEC 62271-105	51
7.6.1	General	51

7.6.2	Pre-arcing temperature rise test	51
7.6.3	Arcing duration withstand test	52
7.7	Insulating Oil liquid -tightness tests	52
7.7.1	General	52
7.7.2	Liquid-tightness tests for switchgear type applications	52
7.7.3	Liquid-tightness tests for transformer type applications	54
8	Routine tests	57
9	Application guide	58
9.1	Object	58
9.2	General	58
9.3	Application	58
9.3.1	Mounting	58
9.3.2	Selection of the rated current of the fuse-link	58
9.3.3	Selection according to class (see 3.3.2) and minimum breaking current	60
9.3.4	Selection of the rated voltage of the fuse-link	60
9.3.5	Selection of the rated insulation level	61
9.3.6	Time current characteristics of high voltage fuses	61
9.3.7	Fuses connected in parallel	62
9.4	Operation	62
9.4.1	Locking of the fuse-link in the service position	62
9.4.2	Replacement of the fuse-link	62
9.5	Disposal	62
Annex A	(normative) Method of drawing the envelope of the prospective transient recovery voltage of a circuit and determining the representative parameters	64
Annex B	(informative) Reasons which led to the choice of TRV values for Test Duties 1, 2 and 3	66
Annex C	(informative) Preferred arrangements for temperature-rise tests of oil-tight fuse-links for switchgear	68
Annex D	(informative) Types and dimensions of current-limiting fuse-links specified in existing national standards	69
Annex E	(normative) Requirements for certain types of fuse-links intended for use at surrounding temperatures above 40 °C	72
Annex F	(informative) Determination of derating when the ambient temperature of the fuse exceeds 40 °C Practical guidelines for thermal derating of current-limiting fuses	76
Annex G	(informative) Criteria for determining I_t testing validity	85
Bibliography	86
Figure 1	– Terminology	14
Figure 2	– Permissible switching voltages for fuse-links of small current ratings (Table 8)	22
Figure 3	– Representation of a specified TRV by a two-parameters reference line and a delay line	25
Figure 4	– Various stages of the striker travel	27
Figure 5	– Example of a two-parameters reference line for a TRV complying with the conditions of the type test	38
Figure 6	– Breaking tests – Arrangement of the equipment	41
Figure 7	– Breaking tests – Typical circuit diagram for Test Duties 1 and 2	42

Figure 8 – Breaking tests – Typical circuit diagram for Test Duty 3.....	42
Figure 9 – Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 1.....	43
Figure 10 – Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 2 (calibration traces as in a) of Figure 9).....	44
Figure 11 – Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 3.....	44
Figure 12 – Test sequence for switchgear type applications.....	54
Figure 13 – Test sequence for combined test for transformer type applications.....	55
Figure 14 – Test sequence for series a) test for transformer type applications.....	56
Figure 15 – Test sequence for series b) test for transformer type applications.....	57
Figure A.1 – Example of a two-parameters reference line for a TRV whose initial portion is concave towards the left.....	65
Figure A.2 – Example of a two-parameters reference line for an exponential TRV.....	65
Figure C.1 – Test tank for temperature-rise tests of oil-tight fuses.....	68
Figure C.2 – Details of clamping arrangement for fuse-link in the tank.....	68
Figure F.1 – Derating curves for some allowed temperature limits.....	80
Figure F.2 – Practical example: dimensions.....	81
Figure F.3 – Extract from IEC 60890.....	82
Figure F.4 – Practical example of application.....	83
Table 1 – Altitude correction factors – Test voltage and rated voltage.....	9
Table 2 – Altitude correction factors – Rated current and temperature rise.....	9
Table 3 – Rated voltages.....	17
Table 4 – Fuse-base rated insulation levels – Series I.....	18
Table 5 – Fuse-base rated insulation levels – Series II.....	18
Table 6 – Limits of temperature and temperature rise for components and materials.....	20
Table 7 – Maximum permissible switching voltages.....	21
Table 8 – Maximum permissible switching voltages for certain fuse-links of small current ratings.....	22
Table 9 – Standard values of rated TRV – Series I.....	23
Table 10 – Standard values of rated TRV – Series II.....	24
Table 11 – Mechanical characteristics of strikers.....	27
Table 12 – Electrical connection to the test circuit – Conductor sizes.....	33
Table 13 – Breaking tests – Parameters.....	37
Table 14 – TRV for Test Duty 2 – Series I.....	39
Table 15 – TRV for Test Duty 2 – Series II.....	39
Table 16 – Breaking test requirements for fuse-links of a homogeneous series.....	46
Table F.1 – Temperature limits extracted from Table 6.....	79

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.

This Consolidated version of IEC 60282-1 bears the edition number 7.1. It consists of the seventh edition (2009-10) [documents 32A/274/FDIS and 32A/277/RVD] and its amendment 1 (2014-07) [documents 32A/311/FDIS and 32A/312/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendment 1. Additions and deletions are displayed in red, with deletions being struck through. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

This publication has been prepared for user convenience.

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

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

A list of all parts of IEC 60282 series, under the general title *High-voltage fuses*, can be found on the IEC website.

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

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

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

HIGH-VOLTAGE FUSES –

Part 1: Current-limiting fuses

1 General

1.1 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.

Some fuses are provided with fuse-links equipped with an indicating device or a striker. These fuses come within the scope of this standard, but the correct operation of the striker in combination with the tripping mechanism of the switching device is outside the scope of this standard; see IEC 62271-105.

1.2 Normative references

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

IEC 60060-1:1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60071-1:2006, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

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

IEC 60265-1:1998, *High-voltage switches – Part 1: Switches for rated voltages above 1 kV and less than 52 kV*

IEC 60549:1976, *High-voltage fuses for the external protection of shunt power capacitors*

IEC 60644:1979, *Specification for high-voltage fuse-links for motor circuit applications*

IEC/TR 60787:2007, *Application guide for the selection of high-voltage current-limiting fuse-links for transformer circuits*

IEC 62271-105:2002, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 105: Alternating current switch-fuse combinations*

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

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

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

2 Normal and special service conditions

2.1 Normal service conditions

Fuses complying with this standard 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 at the minimum and maximum temperatures.

- b) The altitude does not exceed 1 000 m.

NOTE 2 The rated voltages and insulation levels specified in this standard apply to fuses intended for use at altitudes not exceeding 1 000 m. When fuses incorporating external insulation are required for use at altitudes above 1 000 m, one or other of the following procedures should be adopted.

- a) The test voltages for insulating parts in air should be determined by multiplying the standard test voltages given in Tables 4 and 5 by the appropriate correction factor given in column (2) of Table 1.
- b) The fuses may be selected with a rated voltage which, when multiplied by the appropriate correction factor given in column (3) of Table 1 is not lower than the highest voltage of the system.

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

Table 1 – Altitude correction factors – Test voltage and rated voltage

Maximum altitude m (1)	Correction factor for test voltages referred to sea-level (2)	Correction factor for rated voltages (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.

NOTE 3 The rated current or the temperature rise specified in this standard can be corrected for altitudes exceeding 1 000 m by using the appropriate factors given in Table 2, columns (2) and (3) respectively. Use one correction factor from columns (2) or (3), but not both, for any one application.

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

Table 2 – Altitude correction factors – Rated current and temperature rise

Maximum altitude m (1)	Correction factor for rated current (2)	Correction factor for temperature rise (3)
1 000	1,0	1,0
1 500	0,99	0,98
3 000	0,96	0,92

- 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 guidance:
- 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.

For these conditions, condensation may occasionally occur.

NOTE 4 Condensation can be expected where sudden temperature changes occur in periods of high humidity.

NOTE 5 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 may be used.

NOTE 6 Condensation may be 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 1,1 kW/m².

2.2 Other service conditions

Fuse-links intended for use at surrounding temperatures (see 3.3.11) above 40 °C are covered in this standard in Annex E.

2.3 Special service conditions

By agreement between the manufacturer and the user, high-voltage fuses may be used under conditions different from the normal service conditions given in 2.1. For any special service condition, the manufacturer shall be consulted.

2.4 Environmental behaviour

Fuses complying with this standard are inert devices during normal service. It is also a requirement of 5.1.3 that no significant external emission takes place. Therefore, they are regarded as environmentally safe devices in service and operation.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

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 Examples of rated values usually stated for fuses, voltage, current and breaking current.

[IEV 441-18-35 modified]

3.1.2

rating

set of rated values and operating conditions

[IEV 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 For the method to evaluate and to express the prospective current, see 6.6.2.1 and 6.6.2.2.

[IEV 441-17-01, modified]

3.1.4

prospective peak current

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

NOTE 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.

[IEV 441-17-02]

3.1.5

prospective breaking current

prospective current evaluated at a time corresponding to the instant of the initiation of the breaking process

NOTE For the fuses, this instant is usually defined as the moment of the initiation of the arc during the breaking process. Conventions relating to the instant of the initiation of the arc are given in 6.6.2.3.

[IEV 441-17-06]

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

~~[IEV 441-17-08, modified]~~ [SOURCE: IEC 60050-441, 441-17-08, modified (modified definition 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 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.

[IEV 441-17-12, modified]

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

[IEV 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

[IEV 441-17-37, modified]

3.1.10

operating time

total clearing time

sum of the pre-arcing time and the arcing time

[IEV 441-18-22]

3.1.11

Joule integral

I^2t

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 The pre-arcing I^2t is the I^2t integral extended over the pre-arcing time of the fuse.

NOTE 2 The operating I^2t is the I^2t integral extended over the operating time of the fuse.

NOTE 3 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 $A^2 \times s$.

[IEV 441-18-23 modified]

**3.1.12
virtual time**

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

NOTE The values of virtual times usually stated for a fuse-link are the values of pre-arcing time and of operating time.

[IEV 441-18-37 modified]

**3.1.13
time-current characteristic**

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

[IEV 441-17-13]

**3.1.14
cut-off (current) characteristic
let-through (current) characteristic**

curve giving the cut-off current as a function of the **r.m.s** prospective current, under stated conditions of operation

NOTE ~~In the case of a.c.,~~ The values of the cut-off currents are the maximum values that can be reached whatever the degree of asymmetry. ~~In the case of d.c., the values of the cut-off current are the maximum values reached related to the time constant as specified.~~

~~[IEV 441-17-14]~~ [SOURCE: IEC 60050-441, 441-17-14, modified (modified definition and Note to entry)]

**3.1.15
recovery voltage**

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

NOTE 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 ~~or the steady-state~~ recovery voltage alone exists.

~~[IEV 441-17-25, modified]~~ [SOURCE: IEC 60050-441, 441-17-25, modified (modified definition and 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 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 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.

[IEV 441-17-26, modified]

**3.1.17
power-frequency recovery voltage**

recovery voltage after the transient voltage phenomena have subsided

[IEV 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 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.

[IEV 441-17-29, modified]

3.1.19

switching voltage

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

NOTE The switching voltage may be the arc voltage or may occur during the time of transient recovery voltage.

[IEV 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

[IEV 441-18-29]

3.1.21

power dissipation (in a fuse-link)

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

NOTE Prescribed conditions of use and behaviour usually include a constant r.m.s. value of current until steady temperature conditions are reached.

[IEV 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

3.2 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 in which it is inserted 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

[IEV 441-18-01]

3.2.2

terminal

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

NOTE 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

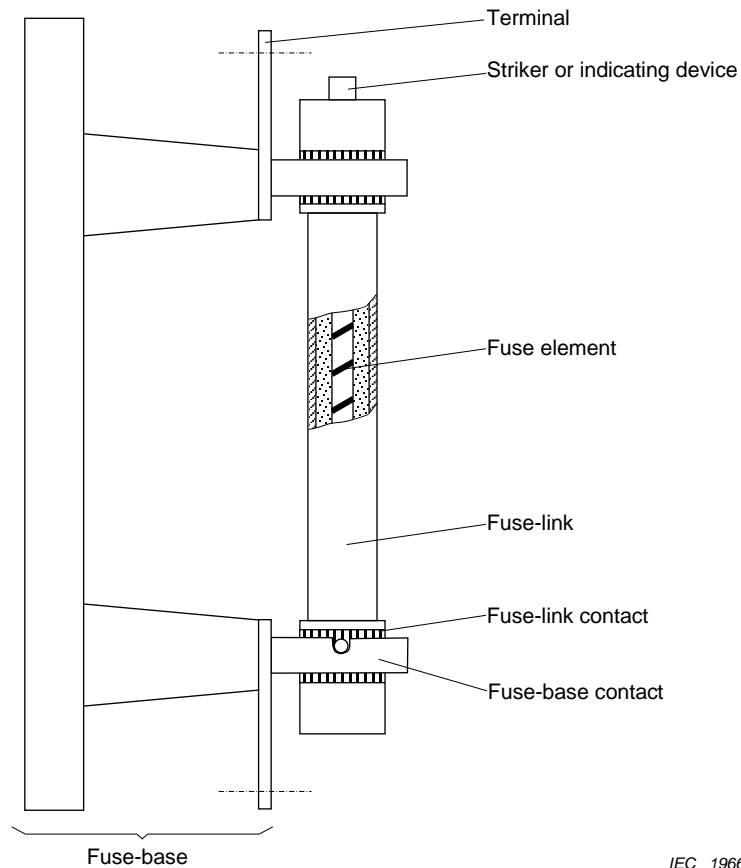
fuse-base

fuse-mount

fixed part of a fuse provided with contacts and terminals

NOTE The fuse-base comprises all the parts necessary for insulation (see [Figure 1](#)).

[IEV 441-18-02]



IEC 1966/05

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](#))

[IEV 441-18-03, modified]

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](#))

[IEV 441-18-09]

3.2.6

fuse-link contact

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

[IEV 441-18-04, modified]

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](#))

[IEV 441-18-08]

3.2.8

**indicating device
indicator**

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

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

[IEV 441-18-18]

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

[IEV 441-18-10, modified]

3.3.2 classes

three classes of current-limiting fuses are defined according to the range in which they can be used:

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

See ~~9.3.3-~~ 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 ~~or more~~

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 6.6.1.1, 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

[IEV 411-18-06, modified]

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 6.6.4.1)

[IEV 441-18-34]

3.3.8

external insulation

distances in atmospheric air and 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 external conditions such as pollution, humidity, vermin, etc.

[IEV 604-03-02, modified]

3.3.9

self-restoring insulation

insulation which completely recovers its insulating properties after a disruptive discharge

[IEV 604-03-04]

3.3.10

organic fuse-link

a 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. 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

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

4 Ratings and characteristics

4.1 General

- a) Ratings of the fuse-base
 - 1) Rated voltage (4.2)
 - 2) Rated current (4.5)
 - 3) Rated insulation level (power-frequency, dry, wet and impulse withstand voltages) (4.3)
- b) Ratings of the fuse-link
 - 1) Rated voltage (4.2)
 - 2) Rated current (4.6)
 - 3) Rated maximum breaking current (4.8.1)
 - 4) Rated frequency (4.4)
 - 5) Rated minimum breaking current for Back-Up fuses ~~and class~~ (4.8.2)
 - 6) Rated TRV (4.10)
- c) Characteristics of the fuse
 - 1) Temperature rise limits (4.7)
- d) Characteristics of the fuse-link
 - 1) Class (3.3.2 and 4.8.2)
 - 2) Switching voltages (4.9)
 - 3) Time-current characteristics (4.11)
 - 4) Cut-off characteristics (4.12)
 - 5) I^2t characteristics (4.13)
 - 6) Mechanical characteristics of the strikers (4.14)
 - 7) Maximum application temperature (see Annex E).

4.2 Rated voltage (U_r)

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

NOTE 1 This rated voltage ~~is equal to~~ represents the highest voltage for ~~the~~ equipment (see ~~Clause 8 IEC 60038~~).

NOTE 2 On three-phase solidly earthed systems, fuses may only be used provided that the highest system voltage is less than or equal to their rated voltage. On single phase or non-solidly earthed systems, fuses may only be used provided that the highest system voltage is less than or equal to 87 % of their rated voltage, unless specific testing has been performed (see IEC/TR 62655:2013, 5.1.3).

The rated voltage of a fuse should be selected from the voltages given in Table 3.

Table 3 – Rated voltages

Series I kV	Series II kV
3,6	2,75
7,2	5,5
12	8,25
17,5	15
24	15,5
36	25,8
40,5	38
52	48,3
72,5	72,5

4.3 Rated insulation level (of a fuse-base)

The voltage values (both power frequency and impulse) that characterise the insulation of the fuse-base with regard to its capability of withstanding dielectric stresses (see ~~Clause 8 IEC/TR 62655:2013, 4.5~~).

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 ~~9.3.5 IEC/TR 62655:2013, 4.5.2~~).

The rated insulation level of a fuse-base should be selected from Tables 4 and 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 U.S.A. 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 kV (peak)		List 2 kV (peak)		(dry and wet) kV (r.m.s.)	
	To earth and between poles	Across the isolating distance of the fuse-base (see note)	To earth and between poles	Across the isolating distance of the fuse-base (see note)	To earth and between poles	Across the isolating distance of the fuse-base (see note)
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

NOTE 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) kV (peak)				Rated power-frequency withstand voltage kV (r.m.s.)					
	To earth and between poles		Across the isolating distance of the fuse-base (see note)		To earth and between poles			Across the isolating distance of the fuse-base (see note)		
	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
2,75	45	–	50	–	15	–	–	17	–	–
4,76	60	–	70	–	19	–	–	21	–	–
8,25	75	95	80	105	26	35	30	29	39	33
15	95	–	105	–	36	–	–	40	–	–
15,5	110	110	125	125	50	50	45	55	55	50
25,8	125	150	140	165	60	70	60	66	77	66
38	150	200	165	220	80	95	80	88	105	88
48,3	–	250	–	275	–	120	100	–	132	110
72,5	–	350	–	385	–	175	145	–	195	160

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

4.4 Rated frequency

Standard values of rated frequency are 50 Hz and 60 Hz.

4.5 Rated current of the fuse-base

The current assigned to a fuse-base that a new clean fuse-base will carry continuously without exceeding specified temperature rises, when equipped with a fuse-link of the same current rating designed to be used in the particular fuse-base connected to the circuit with certain specified conductor sizes and lengths, at an ambient air temperature of not more than 40 °C.

The rated current of the 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.

4.6 Rated current of the fuse-link (I_r)

The current assigned to the 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 ~~Clause 8~~ 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.

4.7 Temperature-rise limits

The fuse-link and the fuse-base shall be able to carry their rated current continuously without exceeding the limits of temperature rise given in [Table 6](#) and without deterioration.

NOTE 1 For fuses used in enclosures, see 6.5.3, ~~9.3.2 and Annex F~~ and IEC/TR 62655:2013, 5.1.1.2 and Annex A.

NOTE 2 Therefore where the term "oil" is used in this standard, any appropriate insulating liquid is covered. Appropriate insulating liquids are those approved by the fuse manufacturer.

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

- a) for bolted contacts and terminals, those of the component having the highest values permitted in [Table 6](#);
- b) for spring-loaded contacts, those of the component having the lowest values permitted in [Table 6](#).

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 coatings (footnote 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 coatings (footnote a)		
B Contacts in oil (copper or copper alloy):		
1 Spring-loaded contacts		
– bare	80	40
– silver-, tin- or nickel-coated	90	50
– other coatings (footnote a)		
2 Bolted contacts		
– bare	80	40
– silver-, tin- or nickel-coated	100	60
– other coatings (footnote a)		
C Bolted terminals in air:		
– bare	90	50
– silver-, nickel- or tin-coated	105	65
– other coatings (footnote a)		
D Metal parts acting as springs (footnote b)		
E Materials used as insulation and metal parts in contact with insulation of following classes (footnote c):		
Class Y (for non-impregnated materials)	90	50
Class A (for materials immersed in oil)	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 (footnote d)		
F Oil (footnotes e and f)	90	50
G Any part of metal or of insulating material in contact with oil except contacts and springs	100	60
<p>a If the manufacturer uses coatings other than those indicated in Table 6, the properties of these materials should be taken into consideration.</p> <p>b The temperature or the temperature rise should not reach such a value that the elasticity of the metal is impaired.</p> <p>c Classes according to IEC 60085.</p> <p>d Limited only by the requirement not to cause any damage to surrounding parts.</p> <p>e At the upper part of the oil.</p> <p>f Special consideration should be given with regard to vaporisation and oxidation when low-flash-point oil is used. The given temperature value may be exceeded for transformer-type applications and/or if synthetic or other suitable insulating liquids are used (see 7.7.3 and IEC 60076-7).</p>		

4.8 Rated breaking capacity

4.8.1 Rated maximum breaking current (I_b)

~~The value of breaking capacity specified for a fuse.~~

The rated maximum breaking current in kA of the 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.

4.8.2 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.

4.9 Limits of switching voltage

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

On request, the manufacturer shall indicate the maximum value of the switching voltages as determined in the breaking tests (see 6.6).

Table 7 – Maximum permissible switching voltages

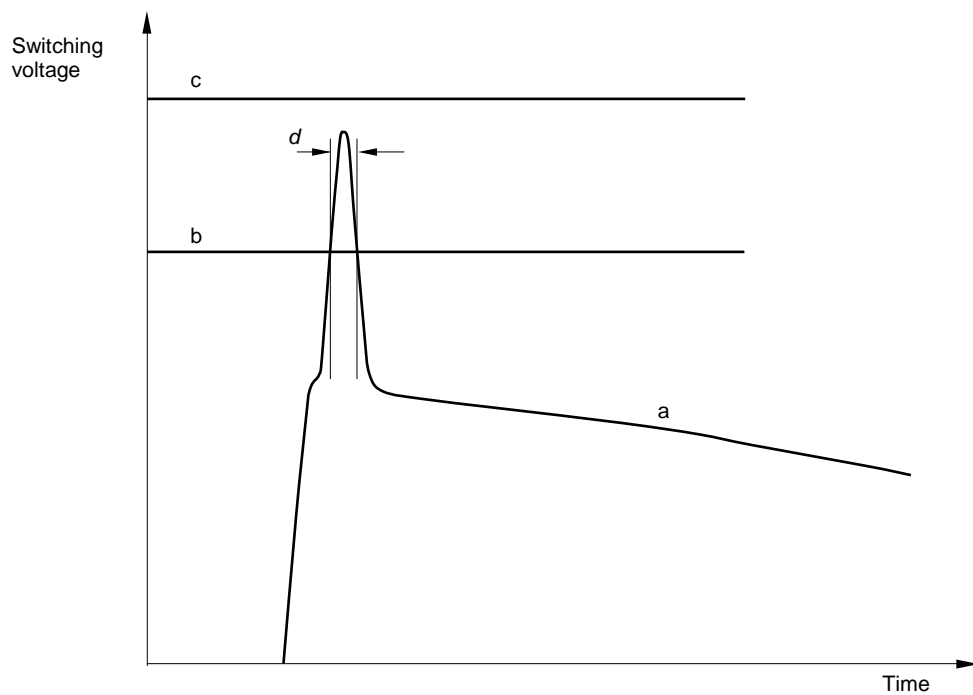
Series I		Series II	
Rated voltage kV	Maximum switching voltage kV	Rated voltage kV	Maximum switching voltage kV
3,6	12	2,75	8
7,2	23	5,5	18
12	38	8,25	26
17,5	55	15	47
24	75	15,5	49
36	112	22	70
40,5	126	25,8	81
52	162	27	84
72,5	226	38	119
		48,3	150
		72,5	226

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

Series I up to and including 3,2 A		Series II up to and including 12 A	
Rated voltage kV	Maximum switching voltage (footnotes a and b) kV	Rated voltage kV	Maximum switching voltage (footnote b) kV
36,6	26	2,75	13
7,2	36	5,5	25
12	50	8,25	38
17,5	63	15	68
24	85	15,5	70
3	120	22 to 25,8	117
		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 4.3).

^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).



IEC 1968/05

Key

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

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

4.10 Rated transient recovery voltage (rated TRV)

4.10.1 General

The rated transient recovery voltage related to the rated maximum breaking current (in accordance with 4.8) is the reference voltage which constitutes the upper limit of the prospective transient recovery voltage of circuits which the fuse shall be capable of breaking in the event of a short circuit.

Standard values of rated TRV are specified in Tables 9 and 10. These values apply to the rated maximum breaking current of a fuse.

Table 9 – Standard values of rated TRV – Series I

Rated voltage	Basic parameters		Derived values			
	Peak voltage	Time coordinate	Time delay ^a (footnote a)	Voltage coordinate ^b (footnote b)	Time coordinate ^c (footnote c)	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	6,6 19,8	29,5	54 63,8	0,68
72,5	124	168	8,4	41,5	64	0,74

^a $t_d = 0,15 t_3$ for $U_r \leq 52$ kV
and $t_d = 0,05 t_3$ for $U_r \geq 52$ kV

^b $u' = 1/3 u_c$ with $u_c = 1,4 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

^c $t' = (0,15 + 1/3) t_3$ for $U_r \leq 52$ kV
and $t' = (0,05 + 1/3) t_3$ for $U_r \geq 52$ kV

Table 10 – Standard values of rated TRV – Series II

Rated voltage	Basic parameters		Derived values			
	Peak voltage	Time coordinate	Time delay (footnote a)	Voltage coordinate (footnote b)	Time coordinate (footnote c)	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
2,75	4,7	37	5,5	1,6	18,1	0,127
5,5	9,4	46	6,9	3,1	22,2	0,204
8,25	14,4	54	8,1	4,8	26,1	0,266
15	25,7	66	9,9	8,6	32,0	0,390
15,5	26,6	67	10,0	8,8	32,2	0,400
25,8	44	91	13,6	14,7	44,0	0,48
38	65	111	16,6	21,7	53,6	0,58
48,3	83	127	19,0	27,6	61,2	0,65
72,5	124	168	8,4	41,5	64	0,74

a $t_d = 0,15 t_3$ for $U_r \leq 48,3$ kV
and $t_d = 0,05 t_3$ for $U_r > 48,3$ kV

b $u' = 1/3 u_c$ with $u_c = 1,4 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

c $t' = (0,15 + 1/3) t_3$ 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 or where fuses are for use in an installation having more severe conditions, the values shall be subject to agreement between manufacturer and user.

The rated transient recovery voltage corresponding to the rated maximum breaking current is used for testing at breaking currents equal to the rated value with the permitted deviation given in 6.6.1.2.2. For testing at breaking current less than the rated value, other values of transient recovery voltage are specified (see 6.6.1.2.3).

4.10.2 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 standard, the transient recovery voltage approximates to a damped single-frequency oscillation. This waveform is adequately described by an envelope consisting of two line segments defined by means of two parameters (reference line) (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.

This representation applies both to rated and to other specified transient recovery voltages which are represented by two parameter reference lines together with delay lines.

4.10.3 Representation of rated TRV

The following parameters are used for the representation of the rated TRV (see Figure 3):

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

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').

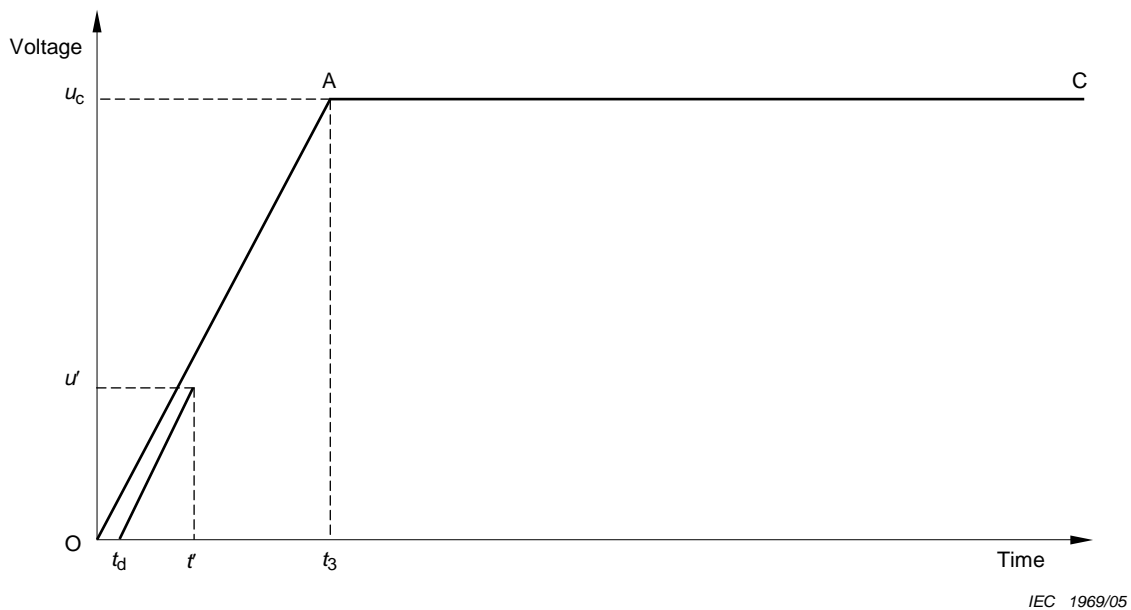


Figure 3 – Representation of a specified TRV by a two-parameters reference line and a delay line

4.11 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 conductor sizes and lengths as specified in 6.5.1.2.

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 6.7.2.

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.

NOTE It is recommended that the values 2,8 and 5,6 be used 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 rating of the fuse-link to which the curve data apply;

- the time range as specified in 6.7.2.2. 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.

For the purpose of coordination between fuses or between fuses and other protective devices, the relevant time-current characteristics may be employed for periods down to 0,1 s.

Where higher fault levels result in fuse operation in times less than 0,1 s, the relevant pre-arcing I^2t and operating I^2t data (see notes 1 and 2 of 3.1.11) may be used.

4.12 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 6.6.

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

4.13 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 standard, 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.

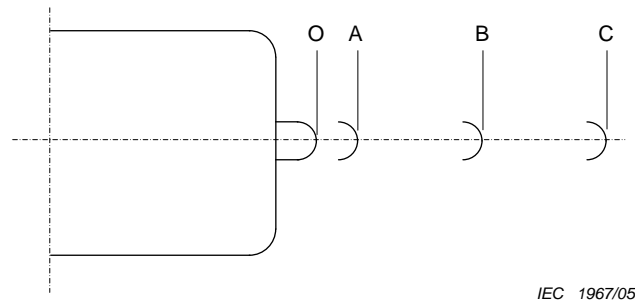
The presentation of I^2t values may be in simple tabular or diagrammatic form (for example, histograms) or may employ graphical presentation with prospective current as abscissa and I^2t as ordinate, both scales being logarithmic with preferred dimensions as in 4.12.

The I^2t values determined as a part of the breaking type tests specified in 6.6 shall not be greater (for operating I^2t) or less (for pre-arcing I^2t) than the values stated by the manufacturer.

4.14 Mechanical characteristics of strikers

Strikers may be 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 4](#)) of their travel and 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.

The mechanical characteristics of the strikers are given in [Table 11](#).



IEC 1967/05

Key

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

Figure 4 – Various stages of the striker travel

Table 11 – Mechanical characteristics of strikers

Type	Energy	Mechanical characteristics					
		Values of		Actual travel		Minimum withstand force	Maximum duration of travel
		Free travel (OA) (footnote a)	Further travel during which energy must be delivered (AB) (footnote a)	Min. (OB) (footnote a)	Max. (OC) (footnote 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 4.

^b Duration of travel is defined as the time from commencement of arcing to the time when travel OB is reached. ~~The additional 50 ms required for the arcing withstand (4.15.2) is to allow for the switch operating time. The minimum arcing withstand time of 100 ms (4.15.3) is sufficient to cover this 50 ms plus an additional time of 50 ms to allow for the switching device operating time.~~

4.15 Special requirement for Back-Up fuses intended for use in switch-fuse combination according to IEC 62271-105

4.15.1 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 5.1.3) at currents just below fuse minimum breaking current is longer in duration than the tripping time of the associated switch.

4.15.2 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.

Procedure to define these temperature and current values is given in 7.6.2. In the case of homogeneous series, it is sufficient to perform the test on the fuse having the highest current rating.

4.15.3 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. Testing procedure is described in 7.6.3.

5 Design, construction and performance

5.1 General requirements with respect to fuse operation

5.1.1 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 6.6 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 ~~Clause 8 IEC TR 62655:2013~~).

5.1.2 Standard conditions of use

~~Fuses shall be capable of breaking correctly any value of prospective current, irrespective of the possible d.c. component, provided that Testing specified in this standard is intended to demonstrate the suitability of a fuse for use under the following conditions:~~

- the a.c. component of current is not ~~lower than the rated minimum breaking current and not higher than the rated maximum breaking current;~~
- ~~– the power frequency recovery voltage is not higher than that specified in Table 13 (for special conditions, see 9.3.4);~~
- the a.c. 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;
- the surrounding temperature is not higher than the maximum application temperature (MAT) in the case of a Full-Range fuse that has an assigned MAT (with no low current restriction);
- 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;
- 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, 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;

NOTE 1 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).

- the highest system voltage is not greater than 87 % of the rated voltage of the fuse-link, if used on a single-phase system;

NOTE 2 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).

- the prospective transient recovery voltage is within the limits represented by the tests specified in 6.6.1.2;
- the frequency is between 48 Hz and 62 Hz;
- the power factor is not lower than ~~that represented by the tests~~ specified in Table 13;
- 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 6.6.1.2.

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 6.6.1.2.2).

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

5.1.3 Standard conditions of behaviour

According to the conditions of use indicated in 5.1.2, the behaviour of the fuse shall be as follows.

- a) A powder-filled fuse-link shall not emit flame or powder, 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 4.14 and shall operate fully.
- d) Operation shall not generate switching voltages higher than the values specified in 4.9.
- 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.

5.2 Identifying markings

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

NOTE 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;
 - 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).

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 oil, unless this information is included in the type designation or identification code.

5.3 Dimensions

Annex D contains a collection and classification of types and dimensions specified in the various existing national standards.

6 Type tests

6.1 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 or under special specified 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 are valid for fuse-links without strikers.

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 standard 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.

6.2 List of type tests

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

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

– tests of strikers.

6.3 Common test practices for all type tests

6.3.1 General

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

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

6.3.2 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 and oil-tightness 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.

6.3.3 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.

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

6.4 Dielectric tests

6.4.1 Test practices

Dielectric test practices shall be as specified in 6.3 and as follows.

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

6.4.1.1 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.

6.4.1.2 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.

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

The test voltage specified in Tables 4 and 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.

NOTE 1 For multi-pole arrangements of fuses

- 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.

NOTE 2 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.

6.4.3 Atmospheric conditions during test

The test shall be made at atmospheric conditions as near as possible to the standard conditions specified in 11.1 of IEC 60060-1.

The correction factors for air density and for air humidity, as given in 11.2.1 and 11.2.2 of IEC 60060-1, may be used for fuses pending further information.

6.4.4 Lightning impulse voltage dry tests

Fuses shall be subjected to lightning impulse voltage dry tests with 1,2/50 impulses in accordance with Section 6 of IEC 60060-1.

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

- at the rated withstand voltage to earth and between poles for all the test conditions a) of 6.4.2;
- at the rated withstand voltage to earth and between poles for the test condition b) of 6.4.2 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 6.4.2 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 (see 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.

6.4.5 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 Tables 4 and 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 a) of 6.4.2;
- at the rated withstand voltage to earth and between poles for the test conditions b) of 6.4.2 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 6.4.2 if isolating properties are assigned to the fuse-base.

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

6.4.6 Power-frequency wet tests

Outdoor type fuses shall be subjected to power-frequency voltage wet tests under the same conditions as specified in 6.4.5 except for the duration, which is 1 min. 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 Clause 9 of IEC 60060-1.

6.5 Temperature-rise tests and power-dissipation measurement

6.5.1 Test practices

Temperature-rise tests and power-dissipation measurement shall be made as specified in 6.3 on one fuse and as follows.

6.5.1.1 Test sample

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

The fuse-link shall be of the highest current-rating for use in the fuse-base.

6.5.1.2 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 in the most unfavourable position within the instructions specified by the manufacturer and connected to the test circuit by bare copper conductors as follows: each conductor shall be approximately 1 m (3 ¼ ft) 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 12](#).

Table 12 – Electrical connection to the test circuit – Conductor sizes

Current rating of the fuse-link (footnote a) A		Size of bare copper conductors (footnote 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	1000	From 800 to 1 000
<p>^a For fuse-links in parallel, the current rating to be considered is the total current assigned by the manufacturer.</p> <p>^b The equivalent area in MCM (thousands of circular mils) can be obtained by multiplying the numbers in mm² by two.</p>		

Oil-tight fuse-links for use in switchgear shall be tested in an oil-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 oil 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 12](#).

Normal clearances need not be provided.

Tests shall be made with the rated current of the fuse-link and at a frequency between 48 Hz and 62 Hz. 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 Clause 4.

6.5.2 Measurement of temperature

6.5.2.1 Temperature of fuse parts

The temperature of the various parts for which limits are specified shall be determined by devices such as thermocouples, thermometers 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).

For measurement with thermometers or thermocouples, the following precautions shall be taken.

- a) The bulbs of the thermometers or thermocouples shall be protected against cooling from outside (dry, clean wool, etc.). The protection area shall, however, be negligible compared to the cooling area of the apparatus under test.
- b) Good heat conductivity between the thermometer or thermocouple and the surface of the part under test shall be ensured.
- c) When bulb thermometers are employed in places where there is a varying magnetic field, it is recommended that alcohol thermometers be used in preference to mercury thermometers, as the latter are more liable to be influenced under these conditions.

6.5.2.2 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 means of at least three thermometers, thermocouples or other temperature-detecting devices equally distributed around the fuse at about the average height of its current-carrying parts at a distance of about 1 m from the fuse. 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.

6.5.3 Measurement of power dissipation

Fuses intended for use in enclosures may require derating (see ~~9.3.2 and Annex F IEC/TR 62655:2013, 5.1.1.2 and Annex A~~). To facilitate this derating, measurement of the power dissipation shall be made as follows.

- a) The measurement of power dissipation can 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 power dissipation (the temperature) has reached a steady-state value for the current value considered. The power dissipation is expressed in watts.

NOTE This requirement applies only to fuses intended for use in enclosures. For other fuses, see 7.1 and 7.3.

- b) Switchgear manufacturers and users who incorporate fuses into their equipment may 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.

6.6 Breaking tests

6.6.1 Test practices

Breaking test practices shall be as specified in 6.3 and as follows.

6.6.1.1 Description of tests to be made

Tests shall be made according to the instructions given in [Table 13](#) 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 below).

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 6.6.1.3).

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 in assessing compliance with this requirement are discussed in Annex G.

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 r.m.s. values of the a.c. component of the current.

If, in making 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 13](#)) except 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 6.6.4 for the requirements to be met and tests to be made.

A homogeneous series 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 6.6.5 for the requirements to be met.

NOTE As a guide, the value of the current I_2 needed to comply with this requirement may be determined by one or other of the following methods.

- 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:

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

where

I_2 is the prospective current for Test Duty 2;

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) By taking between three and four times the current which corresponds to a pre-arcing time of one half-cycle on the time-current characteristic (see 6.7 and 4.11). If a time-current characteristic curve exists for virtual times less than one half-cycle, it is preferable to use the current corresponding on this time-current characteristic to a time of 0,08 normal half-cycle.

Table 13 – Breaking tests – Parameters

Parameters	Test duties		
	1 (footnote a)	2	3
Power-frequency recovery voltage	(0,87 × rated voltage) $\begin{matrix} +5 \\ 0 \end{matrix}$ %		Rated voltage $\begin{matrix} +5 \\ 0 \end{matrix}$ %
Prospective TRV characteristics	See 6.6.1.2		Not specified
Power factor	From 0,07 to 0,15 (footnote b)		0,4 to 0,6
Prospective current (r.m.s. value of the a.c. component)	I_1 $\begin{matrix} +5 \\ 0 \end{matrix}$ %	I_2	I_3 $\begin{matrix} 0 \\ -10 \end{matrix}$ % (footnote c)
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
Initiation of arcing after voltage zero	<i>For one test:</i> From 40° to 65° <i>For two tests:</i> 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 (footnote d)	
Number of tests	3	3	2
<p>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.</p> <p>b When the manufacturer agrees, the lower limit does not apply.</p> <p>c 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.</p> <p>d 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.</p>			

6.6.1.2 Characteristics of the test circuit

6.6.1.2.1 General

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 Figures 7 and 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. Where some distortion is unavoidable, it

shall not be such as to necessitate the open-circuit voltage to be more than 107 % of the voltage corresponding to the required recovery voltage on Test Duties 1 and 2, as specified in 6.6.1.1.

A measuring system with appropriate frequency response shall be provided for switching voltage measurement during Test Duties 1, 2 and t_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 spark-over occurs during the normal interrupting operation of the fuse, since a parallel path through protective equipment may reduce the duty on the fuse.

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.

NOTE 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 6.1).

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.

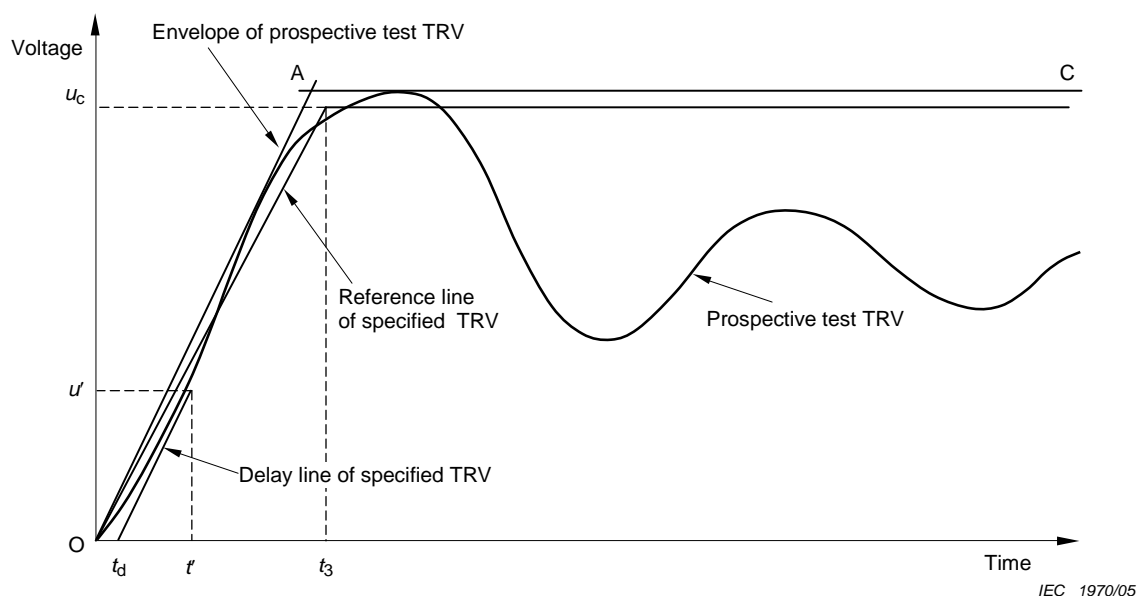


Figure 5 – Example of a two-parameters reference line for a TRV complying with the conditions of the type test

6.6.1.2.2 TRV for Test Duty 1

In principle, the tests are made with the standardised values of TRV specified in 4.10. 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 4.10

and an initial portion not crossing the specified delay line. All the tests of Test Duty 1 shall be made in this new circuit.

6.6.1.2.3 TRV for Test Duty 2

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

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

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

NOTE 1 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).

NOTE 2 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 voltage	Basic parameters		Rate of rise
	Peak voltage	Time coordinate	
U_r	u_c (footnote a)	t_3	u_c/t_3
kV	kV	μs	kV/ μs
3,6	6,6	120 – 160	0,055 – 0,041
7,2	13,2	156 – 208	0,084 – 0,063
12	22	180 – 240	0,122 – 0,091
17,5	32	216 – 288	0,148 – 0,111
24	44	264 – 352	0,167 – 0,125
36	66	324 – 432	0,203 – 0,152
40,5	74	345 – 460	0,214 – 0,160
52	96	396 – 528	0,242 – 0,181
72,5	133	504 – 672	0,265 – 0,199

^a $u_c = 1,5 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

Table 15 – TRV for Test Duty 2 – Series II

Rated voltage	Basic parameters		Rate of rise
	Peak voltage	Time coordinate	
U_r	u_c (footnote a)	t_3	u_c/t_3
kV	kV	μs	kV/ μs
2,75	5	111 – 148	0,045 – 0,033
5,5	10	138 – 184	0,072 – 0,054
8,25	15,4	162 – 216	0,095 – 0,071
15	27,5	198 – 264	0,138 – 0,104
15,5	28,4	201 – 268	0,141 – 0,106
25,8	47	273 – 364	0,172 – 0,129
38	69,5	333 – 444	0,208 – 0,156
48,3	89	381 – 508	0,233 – 0,175
72,5	133	504 – 672	0,265 – 0,199

^a $u_c = 1,5 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

6.6.1.2.4 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.

6.6.1.3 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 13](#) 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 the rated current I_r ;
 - 0,2 to 0,3 lagging if the cross-over current I_t is between 25 times the 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 in assessing compliance with this requirement are discussed in Annex G.

6.6.1.4 Test samples

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

6.6.1.5 Arrangement of the equipment

6.6.1.5.1 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.

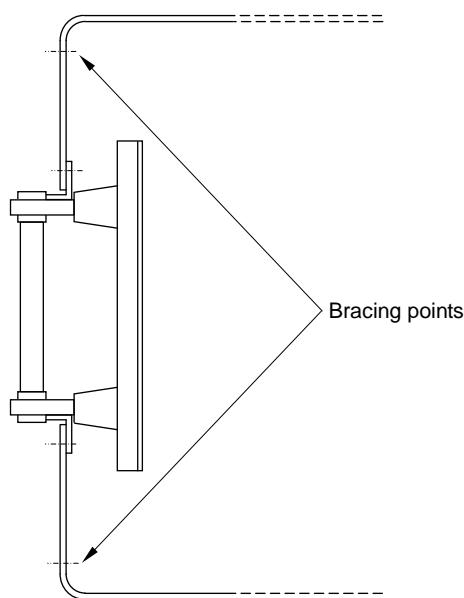


Figure 6 – Breaking tests – Arrangement of the equipment

6.6.1.5.2 Fuses intended for use in oil-filled enclosures

Test Duties 1, 2, 3, and I_t may be performed in air or in an oil-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 an oil-filled enclosure, using an arrangement of test conductors suitable for that enclosure. The oil-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.

6.6.2 Test procedure

6.6.2.1 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 Figures 7 and 8.

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

NOTE 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.

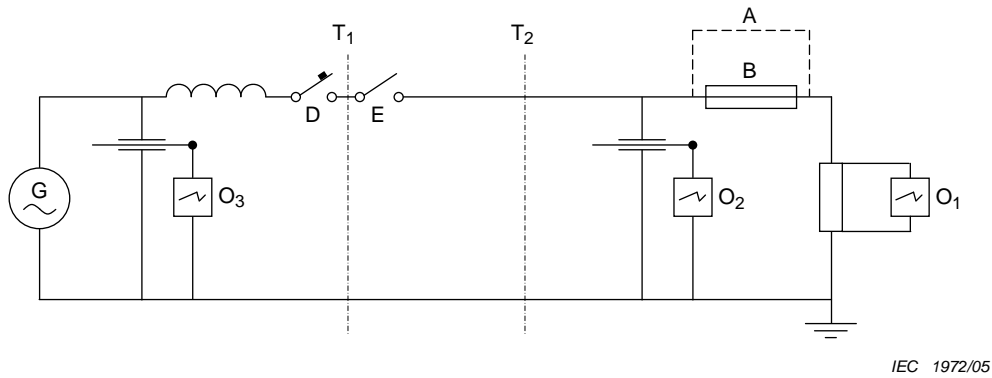
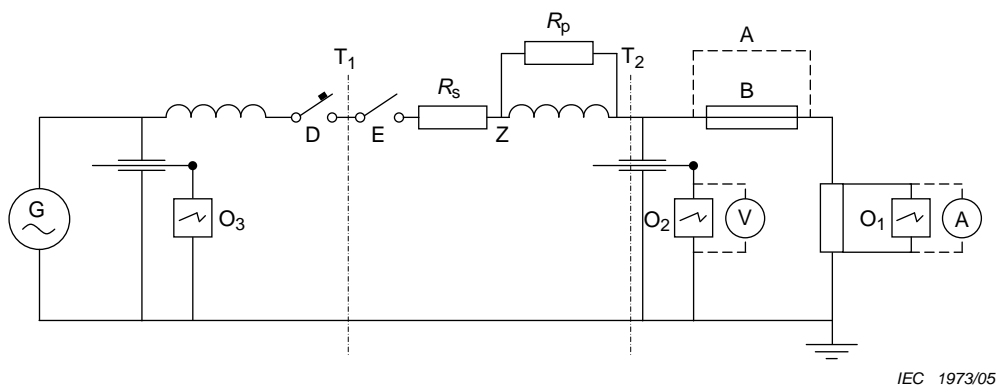


Figure 7 – Breaking tests – Typical circuit diagram for Test Duties 1 and 2



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 – 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

6.6.2.2 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 13.

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, current may be measured by an ammeter as an alternative or an addition to an oscillograph or similar measuring system.

After the fuse has operated, recovery voltage shall be maintained across the fuse for the period specified in Table 13. The first few cycles shall be recorded by an oscillograph or similar system and the remainder may be observed on a voltmeter.

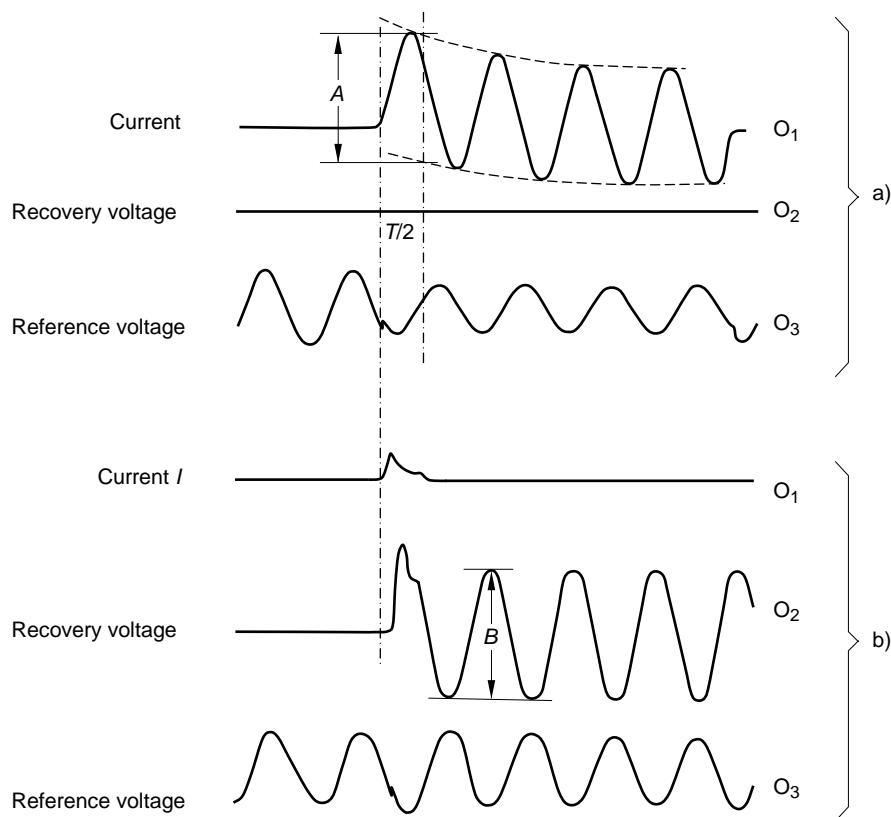
During this period, the power frequency may fall below the specified minimum value.

6.6.2.3 Interpretation of oscillograms

For Test Duties 1 and 2, the prospective breaking current shall be the r.m.s. value of the a.c. component of the current, measured one half-cycle after the initiation of short circuit in the calibration test (see Figures 9 and 10).

For Test Duty 3 and I_t tests, the breaking current shall be the r.m.s. 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 Figures 9, 10 and 11).



IEC 1974/05

Key

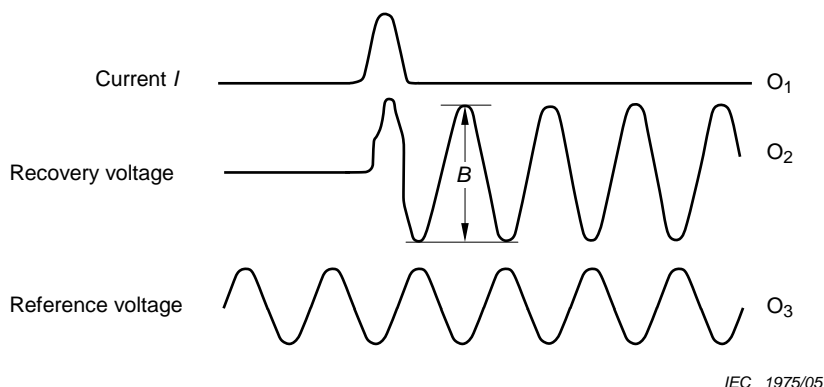
- O₁ Current measurement
- O₂ Recovery voltage measurement
- O₃ Reference voltage measurement
- a) Calibration test
- b) Breaking test

$$\text{RMS value of the a.c. component of prospective breaking current } I = \frac{A}{2\sqrt{2}}$$

$$\text{Recovery voltage } U = \frac{B}{2\sqrt{2}}$$

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

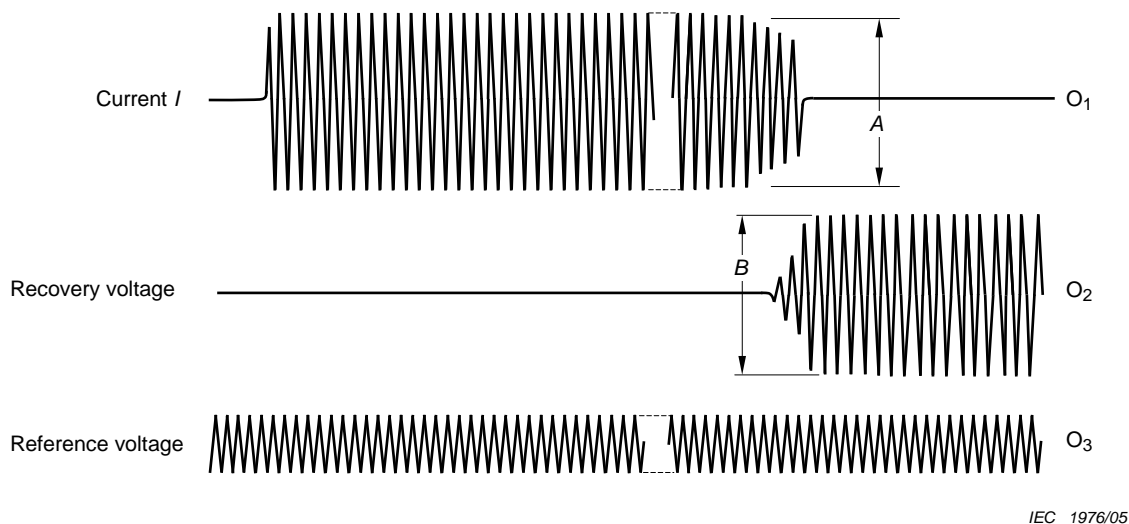
Figure 9 – Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 1



Key

- 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

6.6.2.4 Parameters to be used for tests

The parameters to be used when making the tests are given in [Table 13](#).

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

6.6.3 Alternative test methods for Test Duty 3

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 must occur before arcing commences.

6.6.3.1 Circuit requirements

Circuit requirements are as follows.

- a) 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.
- b) A high-voltage source as described in 6.6.1.2.

The value of the high-voltage current is the current I_3 as defined in 6.6.1.1.

- c) 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.

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 6.6.3.2).

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.

6.6.3.2 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.

6.6.4 Breaking tests for fuse-links of a homogeneous series

6.6.4.1 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 monotonous² 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.

6.6.4.2 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 (footnote a)	X (footnote c)		X
3 (footnote b)	X (footnote d)	X (footnote 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 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.
^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;

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

s: cross-section of each individual fuse element.

6.6.4.3 Interpretation of breaking tests

If the results of tests made according to [Table 16](#) meet the requirements of 5.1.3, any current rating of fuse-links within the homogeneous series shall be deemed to comply with the breaking requirements of this specification.

If a fuse-link does not perform satisfactorily according to 5.1.3 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 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.

6.6.5 Acceptance of a homogeneous series of 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.

6.6.6 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 made in accordance with 6.6.2 and 6.6.4 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 6.6.4.1 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.

6.7 Tests for time-current characteristics

6.7.1 Test practices

Time-current test practices shall be as specified in 6.3 and as follows.

6.7.1.1 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.

6.7.1.2 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 6.5.1.2), or for the breaking tests (see 6.6.1.5).

6.7.2 Test procedures

Time-current tests shall be conducted as follows.

6.7.2.1 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 held to an essentially constant value.

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

6.7.2.2 Time range

Tests shall be made in the following time ranges:

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

6.7.2.3 Measurement of current

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

6.7.2.4 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.

6.8 Tests of strikers

6.8.1 General

These tests are intended to verify that the striker is able to deliver the energy specified in [Table 11](#) even under service conditions that involve low values of current or voltage. The tests in 6.8.3 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 6.8.4.1). 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 11](#)) shall be tested after the operation tests.

6.8.2 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.

6.8.3 Operation tests

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.

NOTE This preparatory part of the specified operation tests may not be appropriate for strikers with additional thermal relay. Premature thermal tripping of the striker may prevent the proper continuation of the test as specified. Appropriate test requirements to cover this case are not yet specified.

Tests a) and b) shall then be made without undue delay on these fuse-links with melted main fuse elements:

Test a): Test current: ≤ 10 A
Test voltage: not specified

Test b): Test voltage: $\leq 0,075 U_r$
Test current: not specified

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.

6.8.4 Test performance

6.8.4.1 General

For tests a) and b) the striker travel, energy output during the actual travel and withstand force shall be within the limits specified in [Table 11](#).

For test b) the duration of travel shall be measured and shall not exceed the value specified in [Table 11](#).

6.8.4.2 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 4](#) shall be measured for one sample and the energy calculated from the following formula:

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

where F_A and F_B are expressed in newtons and AB in millimetres.

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.

When the energy is measured by means of a pendulum, this measurement shall be made during the operation test a) 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. 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.

6.8.4.3 Test of withstand force

For heavy and medium strikers, the minimum withstand force shall be tested on three samples after the operation tests 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 4](#)).

6.9 Electromagnetic compatibility (EMC)

Fuses within the scope of this standard 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 [Tables 7](#) and [8](#) of this standard, no other tests for electromagnetic compatibility are required.

7 Special tests

7.1 General

Special tests are made to check whether a type or particular design of fuse corresponds to the characteristics specified and behaves satisfactorily under special specified conditions. They are made on samples to check the specified characteristics of all fuses of the same type.

These tests shall be repeated only if the construction 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 [6.3](#) and as follows.

7.2 List of special tests

The following tests are to be made after agreement between manufacturer and user for certain types of fuses or for special applications:

- thermal shock test (for fuses intended to be used outdoors);
- power dissipation test for fuses not intended for use in enclosures (other fuses have this test as a type test);
- waterproof test (ingress of moisture) for fuses intended to be used outdoors;
- pre-arcing temperature rise test for Back-Up fuses for use in switch-fuse combinations;
- arcing duration withstand test for Back-Up fuses for use in switch-fuse combinations.
- oil tightness test.

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

7.3 Thermal shock tests

7.3.1 Test sample

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

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

7.3.2 Arrangement of the equipment

The fuse shall be mounted within the instructions specified by the manufacturer and connected to the test circuit by bare copper conductors having sizes as specified in [Table 12](#).

7.3.3 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.

7.4 Power-dissipation tests for fuses not intended for use in enclosures

These tests shall be made under the conditions specified in 6.5.

7.5 Waterproof test (ingress of moisture)

7.5.1 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.

7.5.2 Test sample

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

7.5.3 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.

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

7.6.1 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.

7.6.2 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 6.5, 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 pre-melting 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 must remain physically intact and undamaged as defined in 5.1.3.

7.6.3 Arcing duration withstand test

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 6.6. of this standard, 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 6.6 of this standard for Test Duty 3 except for 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 operates before arcing can occur, then the arcing duration test is not required.

7.7 Insulating ~~oil~~ liquid-tightness tests

7.7.1 General

~~Fuse-links of current-limiting fuses designed to be used immersed in oil shall be tested as follows.~~

~~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 (7.7.2) is intended for applications in which the primary source of heat in an enclosure is the fuse itself (for example switchgear). The second method (7.7.3) 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 recognized 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 ~~involved~~ 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.~~

7.7.2 Liquid-tightness tests for switchgear type applications

~~Fuse-links of current-limiting fuses 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 ~~oil~~ liquid under a pressure of ~~$7 \times 10^4 \text{ N/m}^2$~~ $700 \text{ hPa} \pm 10 \%$ (above atmospheric pressure). ~~The rated current of the fuse-link shall be passed through it for 2 h, and the temperature of the oil shall be raised (using supplementary heating if necessary) to between 75 °C and 85 °C and maintained within this range for a test period of 2 h.~~

A current equal to the maximum permissible continuous current of the fuse-link I_{encl} at 80 °C (see IEC/TR 62655:2013, Annex A) 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 ~~oil~~ 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 ~~should~~ **shall** be the maximum permissible continuous current I_{encl} for this temperature (see ~~Annex F~~ IEC/TR 62655:2013, Annex A).

The current shall be switched off, ~~the any~~ supplementary heating discontinued and the ~~oil~~ liquid cooled, or allowed to cool, to a temperature ~~of~~ **between** 15 °C to 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 ~~oil~~ liquid, cleaned externally and opened for inspection of the arc-quenching medium, which shall show no sign of ingress of ~~oil~~ liquid. **See Figure 12 for a representation of the test sequence.**

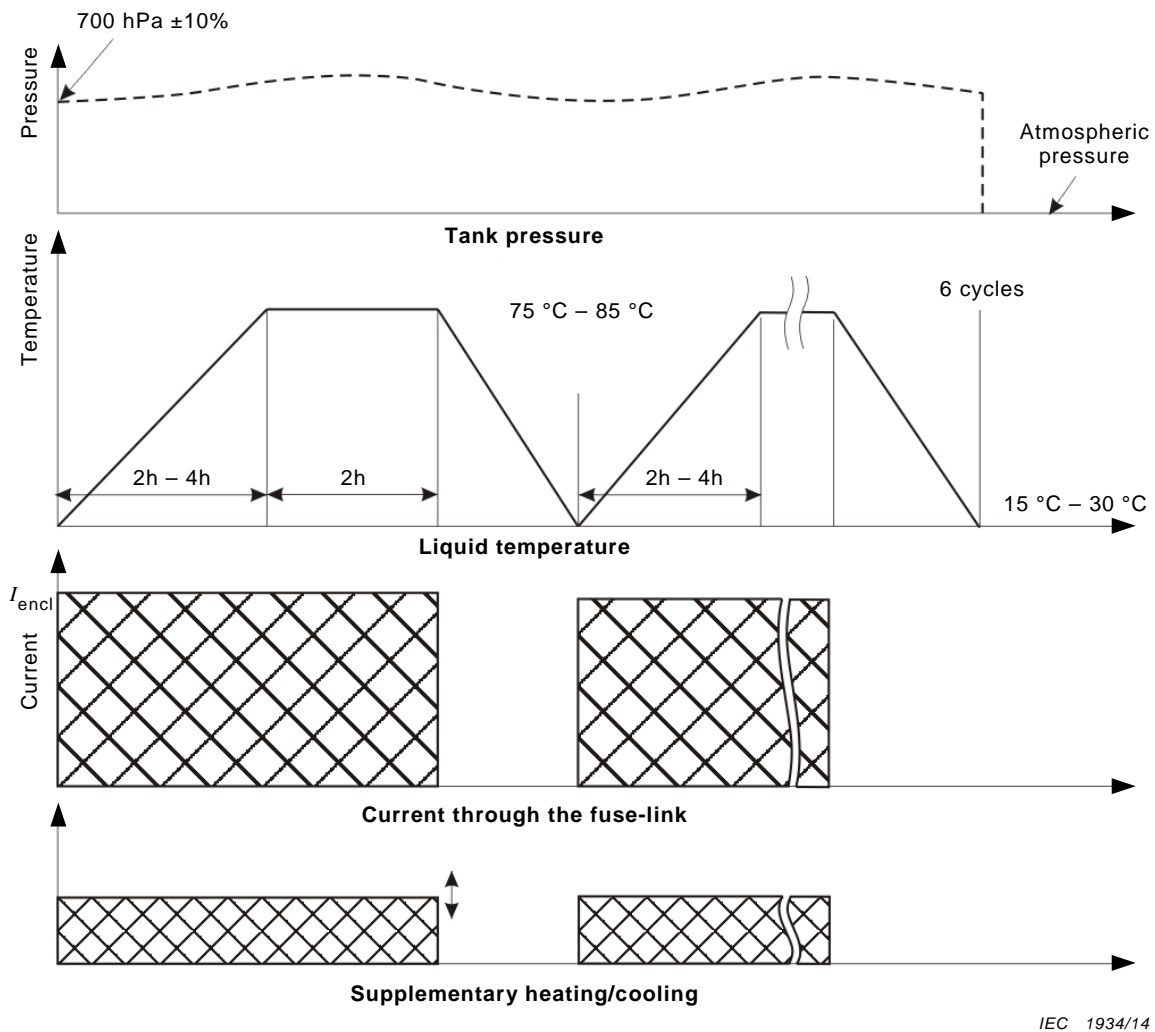


Figure 12 – Test sequence for switchgear type applications

7.7.3 Liquid-tightness tests for transformer type applications

7.7.3.1 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 7.7.3 does not have to be tested to 7.7.2 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 7.7.3, 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).

7.7.3.2 Thermal cycle test in liquid

The fuse-link shall be immersed in insulating liquid and the liquid temperature reduced to -30 °C (+0 °C, -5 °C). 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 -30 °C. When the liquid reaches 115 °C or 140 °C, current equal to the maximum permissible continuous current of the fuse-link I_{encl} for 115 °C or 140 °C (see IEC/TR 62655:2013, Annex A) shall be passed through the fuse for 2 h. During the 2 h period, the liquid temperature shall be maintained at 115 °C /140 °C (+5 °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 7.7.3.1. The cycle may be interrupted for any convenient period of time when the liquid temperature is at 20 °C (+10 °C, –10 °C). There shall be a holding period at –30 °C (+0 °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.

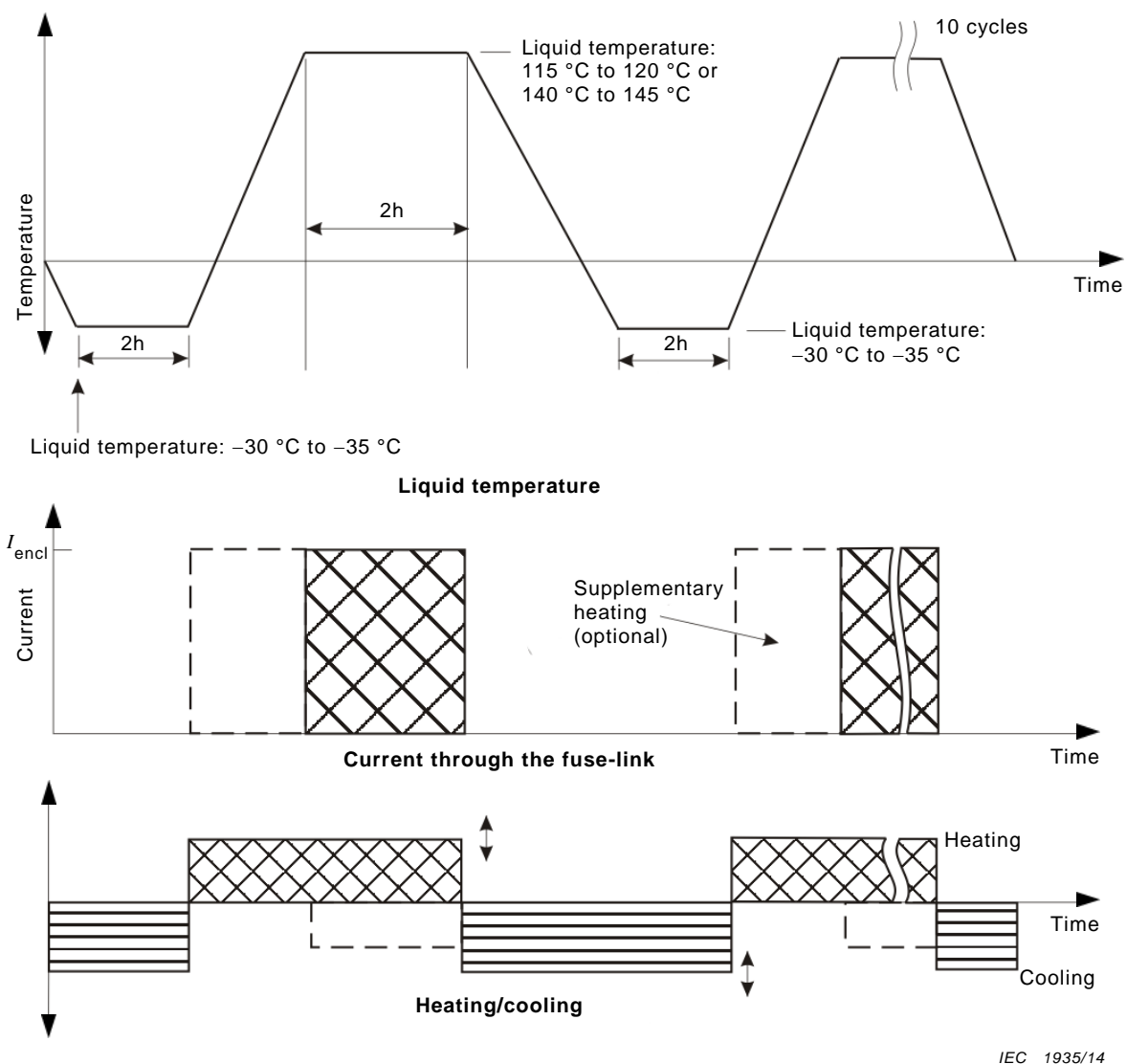


Figure 13 – Test sequence for combined test for transformer type applications

7.7.3.3 Alternative tests

If it is not convenient to perform the testing as specified in 7.7.3.2 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 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($+0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$). One complete cycle consists of raising the fuse-link temperature to $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-0\text{ }^{\circ}\text{C}$) or $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-0\text{ }^{\circ}\text{C}$), and back to $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($+0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$). 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 7.7.3.1, 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 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$). 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.

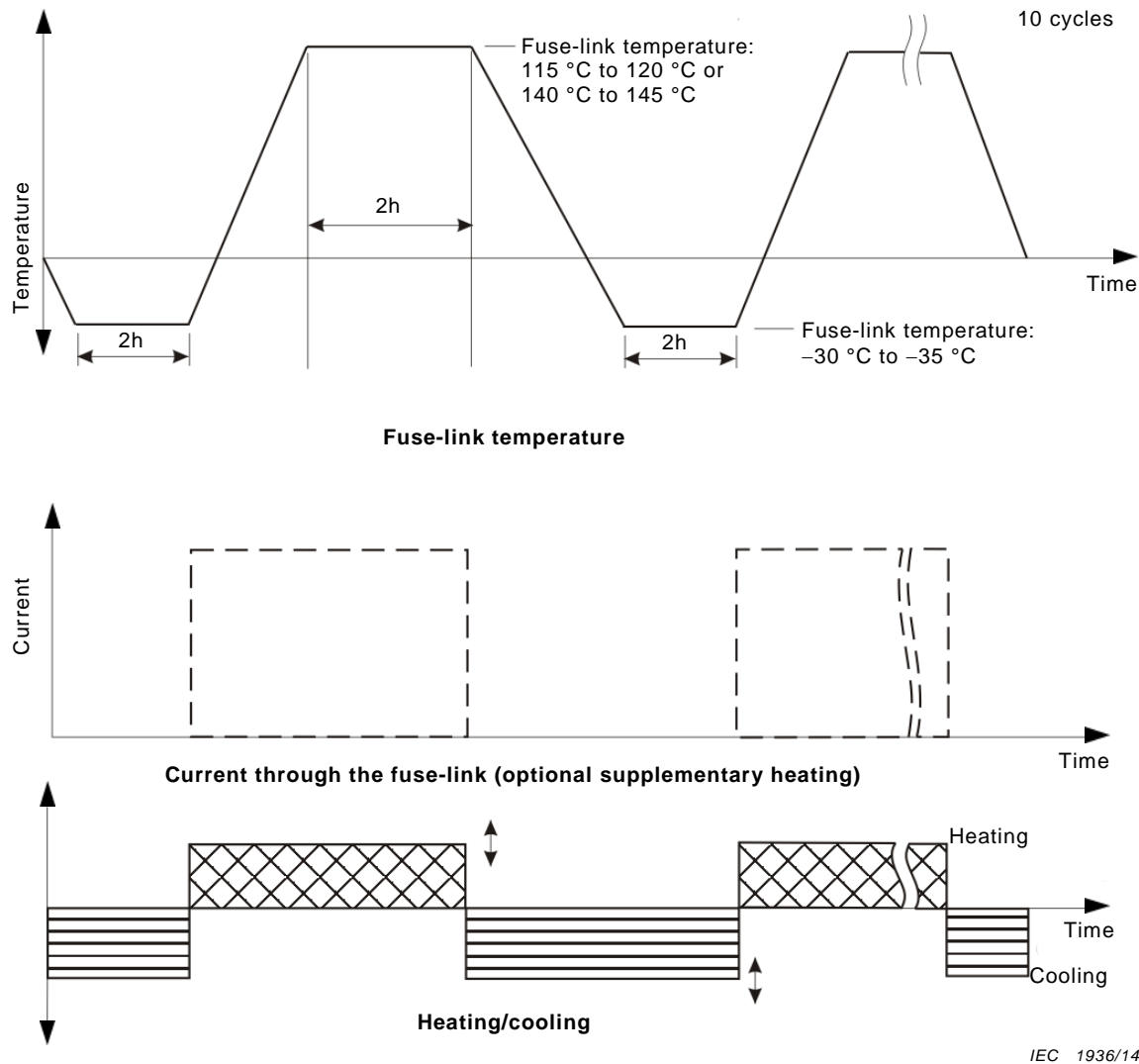


Figure 14 – Test sequence for series a) test for transformer type applications

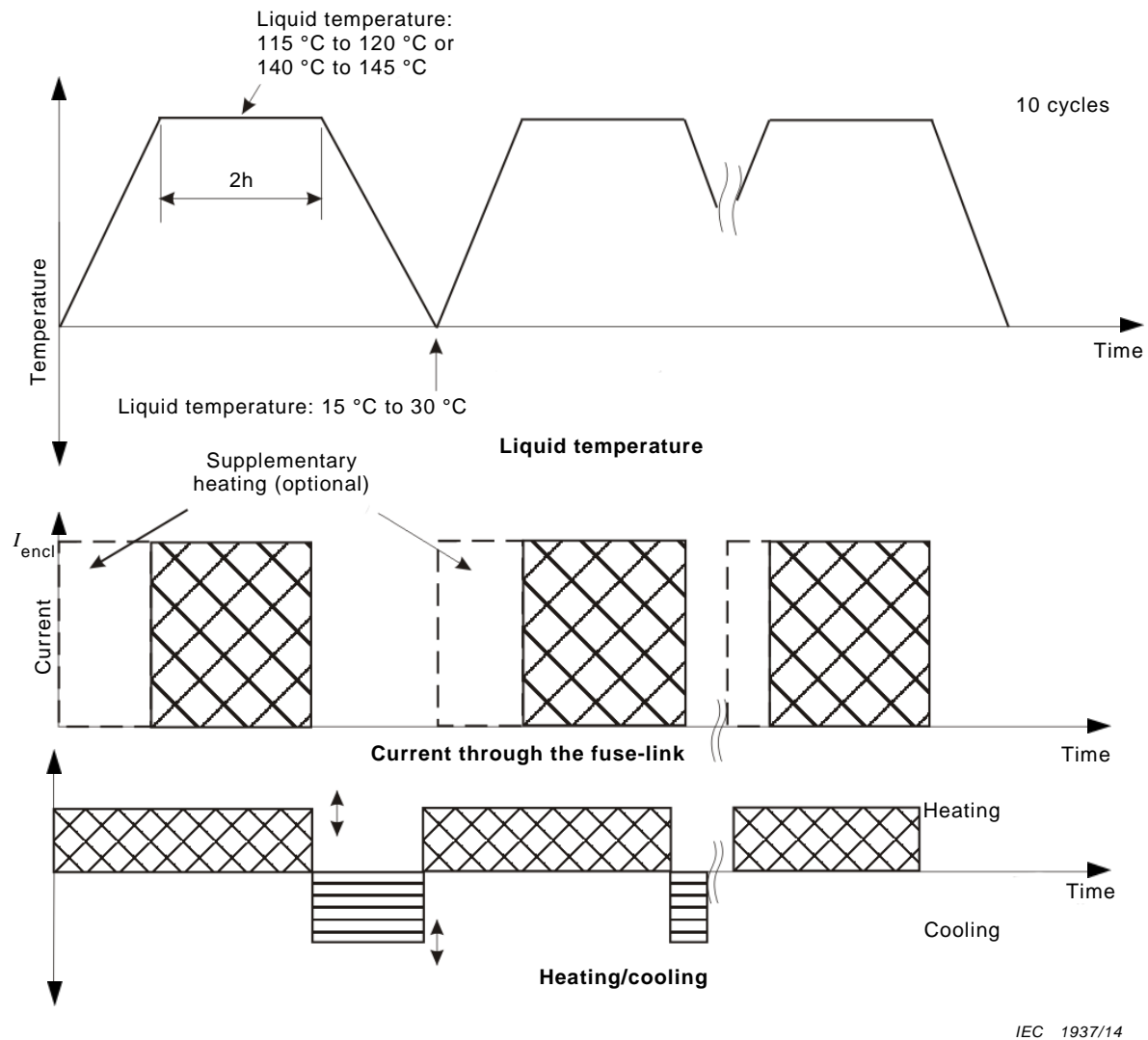
b) Tests in insulating liquid

Each fuse-link from test series a) shall be immersed in insulating liquid. One complete cycle consists of raising the liquid temperature to $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-0\text{ }^{\circ}\text{C}$) or $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-0\text{ }^{\circ}\text{C}$), and back to a temperature of $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. When the insulating liquid reaches the test temperature, current equal to the maximum permissible continuous current of the fuse-link I_{encl} at $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ or $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ (see IEC/TR 62655:2013, Annex A) shall be passed through the fuse for 2 h. During the 2 h period, the liquid temperature shall be maintained at $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ / $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-0\text{ }^{\circ}\text{C}$). 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 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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.



IEC 1937/14

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

8 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.

9 Application guide

9.1—Object

The object of this clause is to present suggestions on application, operation and maintenance as an aid in obtaining satisfactory performance with high-voltage, current-limiting fuses. The manufacturer shall make reference to this clause in his documentation.

9.2—General

A fuse in an electric circuit stands guard at all times to protect the circuit and the equipment connected to it from damage within the limits of its ratings. How well this fuse will perform depends not only upon the accuracy with which it was manufactured, but also upon the correctness of the application and the attention it receives after it is installed. If it is not properly applied and maintained, considerable damage may occur to costly equipment.

High-voltage fuse-links should be handled with at least the same degree of care as any other precision-made item of equipment (such as a relay). Fuse-links should be stored in their protective packaging until required for use. Any fuse-link dropped or otherwise subjected to severe mechanical shock should be checked before use. The check should include an inspection for damage of the fuse barrel and metal parts and a resistance check. A nominal resistance value may usually be obtained from the fuse manufacturer.

If the fuse-link during normal installation and service conditions is subject to severe mechanical stresses, for example, shocks, vibration, etc., acting in one or several directions, it should be verified that the fuse-link can withstand these stresses without damage or deterioration. Practical tests to prove the mechanical withstand of the fuse-links may be carried out by agreement between the user and the manufacturer of the fuses and the switchgear. For switch fuse combinations, see IEC 62271-105.

It cannot be stressed too strongly that prescribed safety rules should be observed at all times when manipulating or maintaining fuses near energised equipment or conductors.

9.3—Application

9.3.1—Mounting

Fuses should be installed in accordance with the manufacturer's instructions. For multipole arrangements of fuses, when the distance between poles is not fixed by the construction, the poles should be mounted with clearances not less than those specified by the manufacturer.

It should be noted that, when fuse-links are subjected to the effect of severe solar radiation, or are used in an enclosure that subjects the fuse-link to a surrounding temperature above 40 °C, certain aspects of the performance of these fuse-links may be significantly affected. Depending on the fuse design, aspects affected may include current rating, time-current characteristics and current breaking ability. Some fuse types have to be specifically designed and tested for such an application (for example some organic fuses). The effect on the fuse's current rating is covered in 9.3.2 and Annex F. Changes to the time current characteristic are also covered in 9.3.2. Additional testing requirements for certain fuse-links intended for use in a surrounding temperature above 40 °C are covered in Annex E.

9.3.2—Selection of the rated current of the fuse-link

The rated current of a fuse-link is usually higher than the normal service current. Recommendations for selection are usually provided by the manufacturer.

If the current rating of the fuse-link is less than that of the fuse-base, the effective current rating of the fuse is that of the fuse-link.

The rated current of the fuse-link should be selected with due regard to the following parameters:

- a) normal and possible overload currents of the circuit, including sustained harmonics;
- b) transient phenomena in the circuit related to switching such equipment as transformers, motors or capacitors;

~~e) coordination with other protective devices, if any.~~

~~The rated current assigned by the fuse-link manufacturer is based on a number of factors.~~

~~One factor is the temperature rise of the fuse-link contacts, determined at the temperature-rise test in accordance with 6.5 of this standard by testing single phase in free air or in oil.~~

~~The conditions of connections, orientation, ambient temperature and mounting are specified. Regardless of the ambient temperature during the test (which may be any value between +10 °C and +40 °C), the results of the temperature-rise test are deemed to be valid up to a service ambient temperature of 40 °C.~~

~~The effect of enclosing the fuse-link and the proximity of two other fuse-links of a three-phase set will have an adverse effect on the in-service temperature.~~

~~The manufacturer may have determined the rated current using criteria based upon the need to ensure an adequate margin against deterioration of the fuse elements in addition to compliance with temperature-rise limits. Hence it cannot be assumed that a fuse-link will remain satisfactory in service merely because the maximum allowable temperature rises as detailed in Table 6 of this standard have not been exceeded. This particularly applies in the case of lower rated currents but may also apply to the higher current rating of a homogeneous series.~~

~~The fuse-link rated current selected for a given application is often determined by factors other than continuous current in service (see IEC 60787). However, if the continuous current in service is the determining factor, then attention has to be paid to the effect of the following conditions (especially if the fuses are used in an enclosure, see Annex F):~~

- ~~a) temperature of the medium surrounding the fuse-link;~~
- ~~b) type and size of connections;~~
- ~~c) orientation of fuse-links;~~
- ~~d) fuse-link enclosure;~~
- ~~e) effect of solar radiation;~~
- ~~f) effect of forced cooling.~~

~~Incorrect selection of fuse-link rated current may result in the following:~~

- ~~1) deterioration of the fuse-link element;~~
- ~~2) deterioration of contacts;~~
- ~~3) deterioration of the enclosure.~~

~~Furthermore, as compared with fuse-link manufacturers' published information, some conditions may cause the time-current characteristics to be shifted to the left at the long-time end (see Figure 1 of IEC 60787), and hence the minimum melting currents may have lower values. Note however that the values of minimum breaking current are usually unchanged. It should be noted that, in the case of a General Purpose fuse, the test current used for the TD3 test may then produce melting of the fuse in less than 1 h. At the request of the user, time-current data may be supplied to cover this situation.~~

~~Because the fuse-link and its enclosure produce a system with interacting effects, and each component may be supplied by a different manufacturer, it is essential that sufficient data is made available to permit proper application.~~

~~Suitability for a specific application of the fuse-link in an enclosure is the responsibility of the supplier of the fuse enclosure package (FEP) and the user is recommended to follow the instructions of the FEP manufacturer. Otherwise, the responsibility for the choice is considered to rest with the user.~~

~~9.3.3 Selection according to class (see 3.3.2) and minimum breaking current~~

~~9.3.3.1 General~~

~~Fuse-links should be selected so that the value of minimum breaking current is appropriate to the particular application concerned. It should be stressed that use of a fuse-link having too high a value of minimum breaking current could, under certain circumstances, result in disruptive failure of the fuse-link and consequent damage.~~

~~9.3.3.2 Fuse-links used in switch-fuse combinations conforming with IEC 62271-105~~

~~Minimum breaking current need only be low enough to ensure correct coordination with the switch of the combination (see IEC 62271-105). Back-Up fuses are generally used for this application.~~

~~9.3.3.3 Fuse-links used as sole protection for transformer or distribution circuits (see IEC 60787)~~

- ~~a) For applications where it can be shown by calculation or by service experience that low fault levels are unlikely to occur, then suitable Back-Up fuses may be used. In this case, it is necessary to ascertain that the rated minimum breaking current of the fuse-link is less than the smallest short-circuit current likely to appear upstream of the low-voltage protecting device. Typical values of rated minimum breaking current for fuses used in such applications would be in the range of four to eight times the transformer rated current.~~
- ~~b) For applications where experience or calculation indicates there is a possibility of very low values of overcurrents occurring on the system (i.e. below about four times fuse rated current), then General Purpose or Full-Range fuses should be employed. The latter class of fuse is especially recommended for applications where overcurrents can occur at values as low as the fuse minimum melting current and where the fuse has to be de-rated for use in an enclosure.~~

~~9.3.3.4 Fuse-links used to provide short-circuit protection in combination with expulsion fuse-links~~

~~Minimum breaking current need only be lower than the cross-over current of the series combination. Values of rated minimum breaking current vary widely depending on the design of the combination. Back-Up fuses are normally used for this application.~~

~~9.3.3.5 Fuse-links used for motor circuit protection (see IEC 60644)~~

~~In general, the minimum breaking current need only be low enough to ensure correct coordination with the switching device over-current relay. Back-Up fuses are normally used for this application. However, where additional safety is required, the fuse-link minimum breaking current should be at least as low as the stalled rotor current of the protected motor.~~

~~9.3.3.6 Fuse-links used for capacitor protection (see IEC 60549)~~

~~Where fuse-links are used to protect capacitor units, very low minimum breaking current values may be desirable in order to take account of the small increases in current which occur when one or more series connected capacitor elements break down. In the case of fuse-links used only for line protection (where individual units are separately protected by other means), then fuse-links with an appropriately higher value of minimum breaking current may be employed.~~

~~9.3.4 Selection of the rated voltage of the fuse-link~~

~~The rated voltage of the fuse-link should be selected with regard to the following.~~

- ~~— If used in a three-phase solidly earthed neutral system or impedance- or resistance-earthed neutral system, the voltage rating of the fuse-link should be at least equal to the highest line-to-line voltage.~~
- ~~— If used on a single-phase system, the voltage rating of the fuse-link should be at least equal to 115 % of the highest single-phase circuit voltage.~~
- ~~— If used on a three-phase isolated neutral system or a resonant earthed system, the possible occurrence of a double earth fault with one fault on the supply side and one fault~~

~~on the load side of a fuse on another phase, should be considered. If the highest line-to-line voltage of this system is higher than 0,87 times the voltage rating of the fuse, tests at a level of at least this higher value are necessary for the fuses to be used.~~

~~The possibility of interruption of capacitive currents in the case of single phase-to-earth fault should also be considered. If fuse-links are used in such a network system, without having striker tripping of the associated switch, tests may be carried out by agreement between manufacturer and user, in accordance with the appropriate test conditions of IEC 60265-1. The test currents should be agreed upon in relation to the fuse link to be tested and the values of the currents in the healthy and faulty phases during earth fault.~~

9.3.5 — Selection of the rated insulation level

~~Tables 4 and 5 specify values for the rated lightning impulse withstand voltage.~~

~~The choice between lists 1 and 2 of Table 4 should be made by considering the degree of exposure to lightning and switching overvoltages, the type of system neutral earthing and, where applicable, the type of overvoltage protective device.~~

~~Equipment designed according to list 1 is suitable for installations such as the following:~~

- ~~a) in systems and industrial installations not connected to overhead lines:
 - ~~1) where the system neutral is earthed either solidly or through an impedance which is low compared with that of an arc suppression coil. Surge protective devices, such as diverters, are generally not required;~~
 - ~~2) where the system neutral is earthed through an arc suppression coil and adequate overvoltage protection is provided in special systems, for example, an extensive cable network, where surge diverters capable of discharging the cable capacitance may be required;~~~~
- ~~b) in systems and industrial installations connected to overhead lines through transformers and where cables or additional capacitors of at least 0,05 μ F per phase are connected between the transformer lower-voltage terminals and earth, on the transformer side of the fuses and as close as possible to the transformer terminals. This covers the cases where
 - ~~1) the system neutral is earthed either solidly or through an impedance which is low compared with that of an arc suppression coil (overvoltage protection by means of surge diverters may be desirable);~~
 - ~~2) the system neutral is earthed through an arc suppression coil and where adequate overvoltage protection by surge diverters is provided.~~~~
- ~~c) in systems and industrial installations connected direct to overhead lines where
 - ~~1) the system neutral is earthed solidly or through an impedance which is low compared with that of an arc suppression coil and where adequate overvoltage protection by spark gaps or surge diverters is provided depending on the probability of overvoltage amplitude and frequency of occurrence;~~
 - ~~2) the system neutral is earthed through an arc suppression coil and where adequate overvoltage protection by surge diverters is provided.~~~~

~~In all other cases, or where a very high degree of security is required, equipment designed to list 2 should be used.~~

~~NOTE In case of application of rated lightning impulse withstand voltages of list 1, an agreement between manufacturer and user may be necessary concerning the maximum switching voltages specified in Table 7.~~

9.3.6 — Time-current characteristics of high-voltage fuses

~~As stated in 9.3.2, the rated current of a high-voltage fuse, although important, is only one of a number of factors to be considered when choosing a fuse for a given application.~~

~~A factor of particular relevance when selecting a fuse is the time-current characteristic. This characteristic is of importance in relation to~~

- a) fuse withstand against transient surge currents, for example, transformer magnetising inrush current, motor starting current;
- b) coordination with other associated protective devices, for example, upstream circuit-breaker relays, downstream low-voltage fuses, motor starter relays;
- c) levels of protection afforded to associated feeder, transformer, motor control circuit, etc.

IEC 60644 and IEC 60787 give some guidance on preferred characteristics for motor control and distribution transformer applications respectively. However, it has not been found possible to standardise high-voltage fuse time-current characteristics because of wide differences in national practices and protection philosophies. Hence there are often wide differences between the characteristics of fuse-links of similar rating but of different type or manufacture.

It is therefore advisable to consult fuse manufacturers and compare time-current characteristics when choosing the optimum fuse-link for a given application.

9.3.7 — Fuses connected in parallel

Individual fuse-links of the same type reference and rating may be connected in parallel by the user in order to achieve a higher current rating than would be possible from one fuse alone. In such cases the following should be noted.

- a) The fuse manufacturer should be consulted to determine the suitability of a given fuse design for connection in parallel.
- b) The current rating of the combination will usually be somewhat less than the sum of the individual fuse current ratings, e.g., due to proximity heating effects.
- c) The I^2t values of the combination during operation will be approximately equal to $n^2 \times I^2t$ of a single fuse-link, where n is the number of fuse-links connected in parallel.
- d) The cut-off current value of the combination during operation will be approximately equal to $n \times$ cut-off current value for a single fuse-link at prospective current I_p/n , where I_p is the value of prospective current of the combination and n the number of fuse-links connected in parallel.
- e) Unless advised by the manufacturer it must be assumed that the maximum breaking capacity of the parallel combination of fuses is no greater than that for a single fuse, and the minimum breaking current of the combination is no lower than n times that for a single fuse of the same given type, where n is the number of parallel fuses.

9.4 — Operation

9.4.1 — Locking of the fuse-link in the service position

Special care should be taken to see that the fuse-link is securely locked in the service position.

9.4.2 — Replacement of the fuse-link

It is advisable to remove and to insert fuse-links when in an off-load condition.

It is advisable to replace all three fuse-links when the fuse-link on one or two phases of a three-phase circuit has operated, unless it is definitely known that no over-current has passed through the unmelted fuse-links.

9.5 — Disposal

When applicable, the manufacturer shall provide information concerning the disposal of fuses with due regard to environmental considerations.

It is the responsibility of the user to consider and comply with all local relevant regulations concerning disposal.

For application information, see those parts of Clause 5 of IEC/TR 62655:2013 that are applicable to current-limiting fuses.

Explanation: During the course of the making of this amendment to Publication 60282-1, ed.7.0, also its Clause 9 Application Guide did undergo certain amendments. The technical contents of that amended Clause 9 has, in the meantime, been incorporated into Clause 5 of IEC/TR 62655, the Tutorial and application guide for high-voltage fuses, published in May 2013. Hence the decision to delete the content of Clause 9 in the amended 60282-1.

Annex A (normative)

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

A.1 General

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.

NOTE 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 [Figures A.1](#) and [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 [Figures A.1](#) and [A.2](#), can be obtained as coordinates of the point of intersection A.

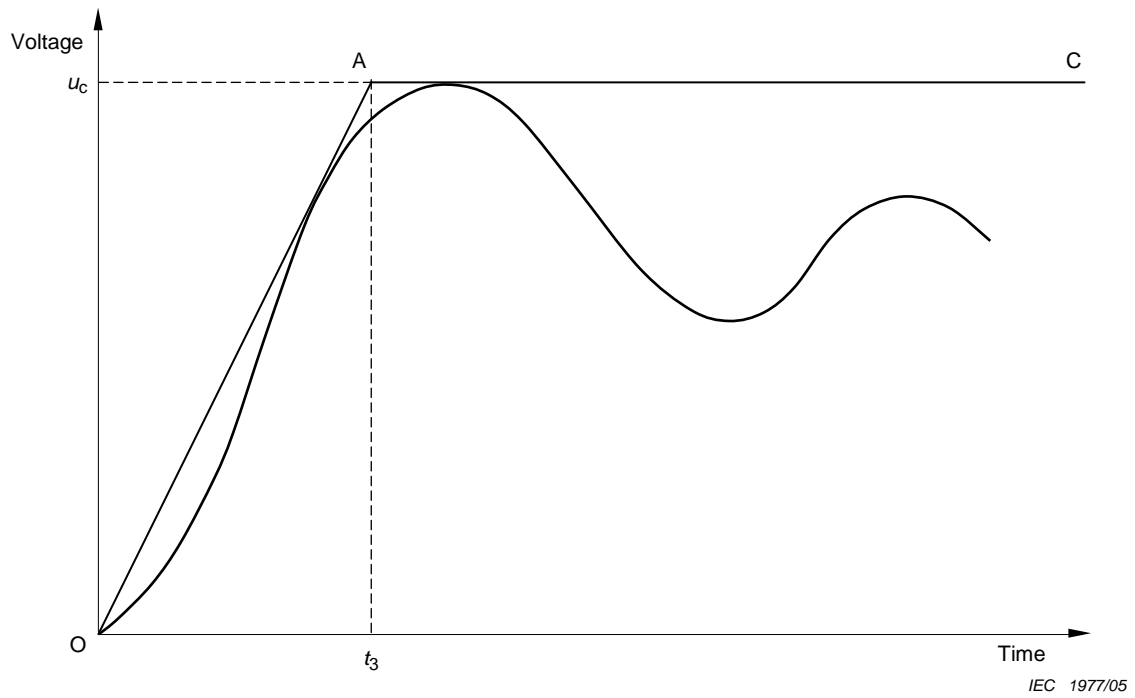


Figure A.1 – Example of a two-parameters reference line for a TRV whose initial portion is concave towards the left

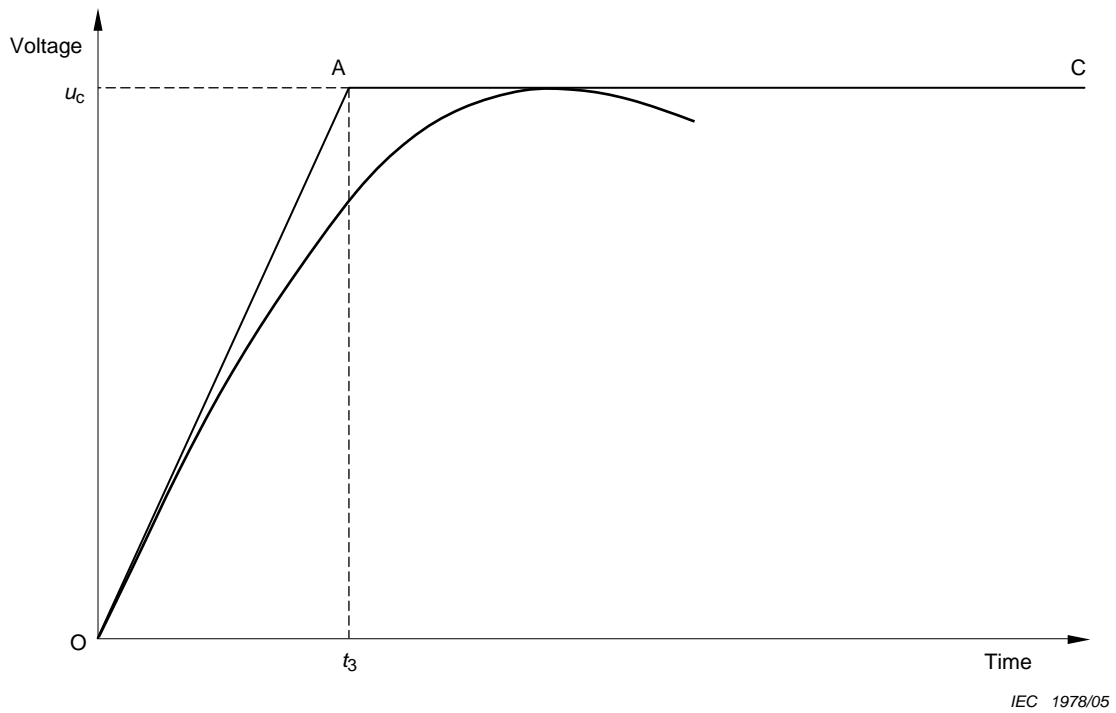


Figure A.2 – Example of a two-parameters reference line for an exponential TRV

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 standard 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 13](#) of this standard. 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 e.m.f. 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 e.m.f. 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 must 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 IEC 62271-100 (see Tables 14 and 15 of this standard). 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 Tables 9 and 10 of this standard.

Test Duty 3 – This standard does not specify TRV conditions; instead, 6.6.1.2 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 oil-tight fuse-links for switchgear

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.

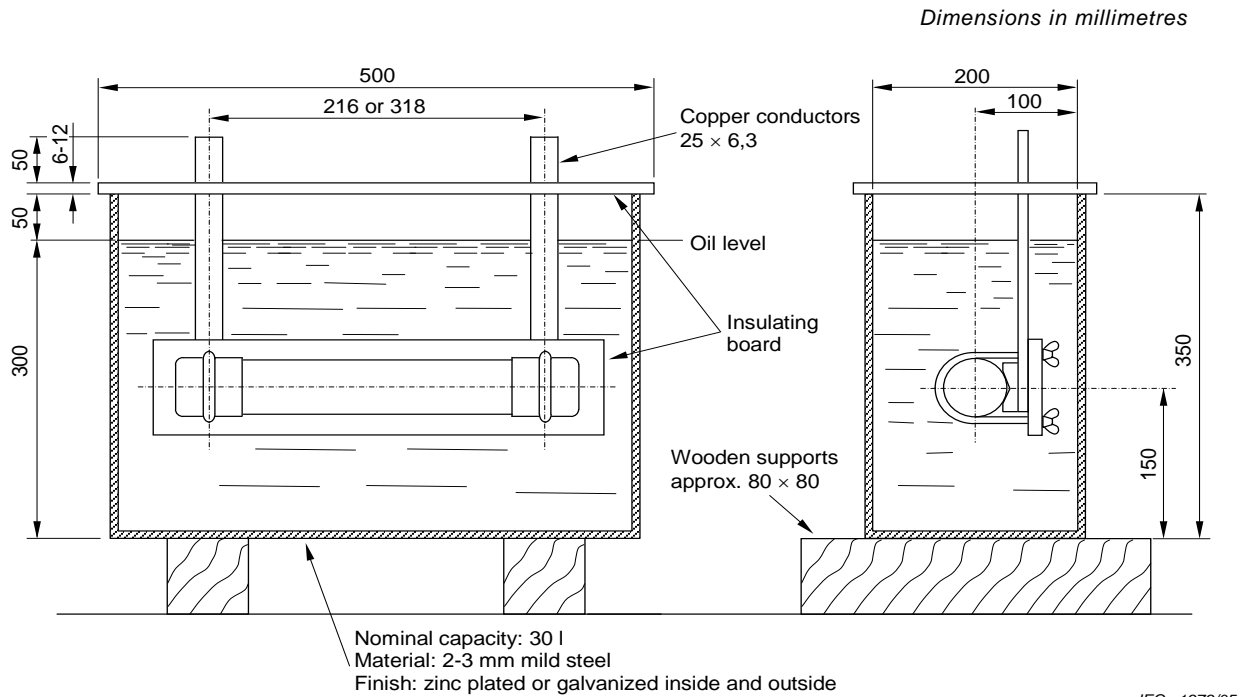
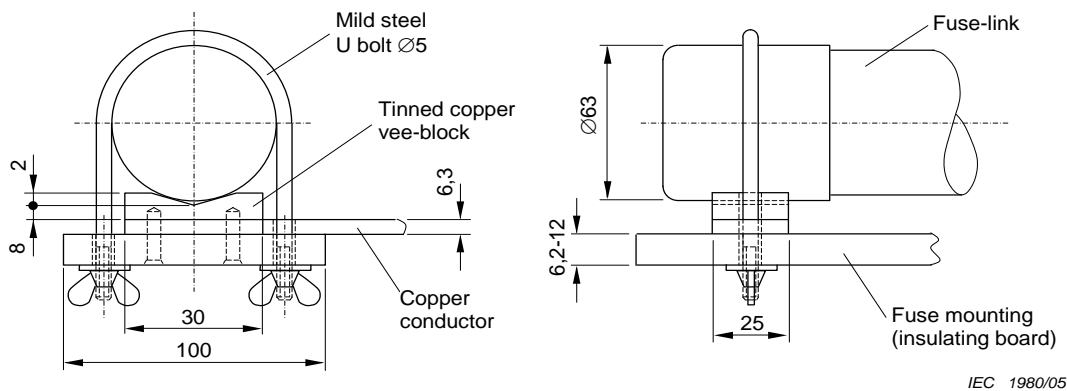


Figure C.1 – Test tank for temperature-rise tests of oil-tight fuses



NOTE 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.

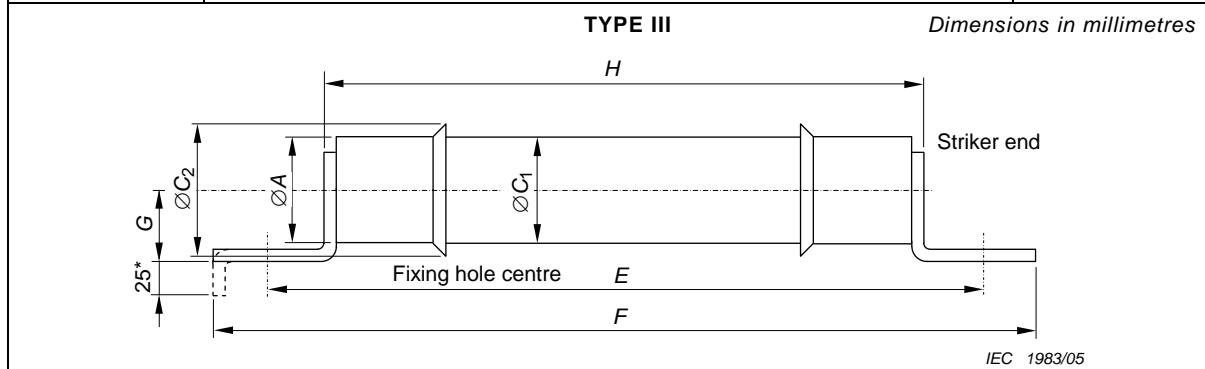
It is expected that this annex will keep countries informed of efforts devoted to the standardisation of fuse-links and will encourage them to achieve a reduction of the number of types. It is hoped that a second step will be to up-date and complete this annex in order to obtain a worldwide standardisation 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		
<p>TYPE I <i>Dimensions in millimetres</i></p>				
$\varnothing A$	B	$\varnothing C_2$ min.	$\varnothing C_1$ and C_2 max.	D_{-1}^0
45 ± 1	33^{+2}_0	50	88	192 292 367 442 537
$55 \pm 0,5$	35 ± 1	60	80	450
<p>The striker or indicator, if any, shall be on the centre-line of the fuse-link.</p>				

FUSE-LINKS FOR CURRENT-LIMITING FUSES		Data sheet II		
TYPE II <i>Dimensions in millimetres</i>				
<p style="text-align: right;"><small>IEC 1982/05</small></p>				
$\varnothing A \pm 0,5$	$B \begin{smallmatrix} +13 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$\varnothing C_1$ 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
<p>The striker or indicator, if any, shall be on the centre-line of the fuse-link.</p>				

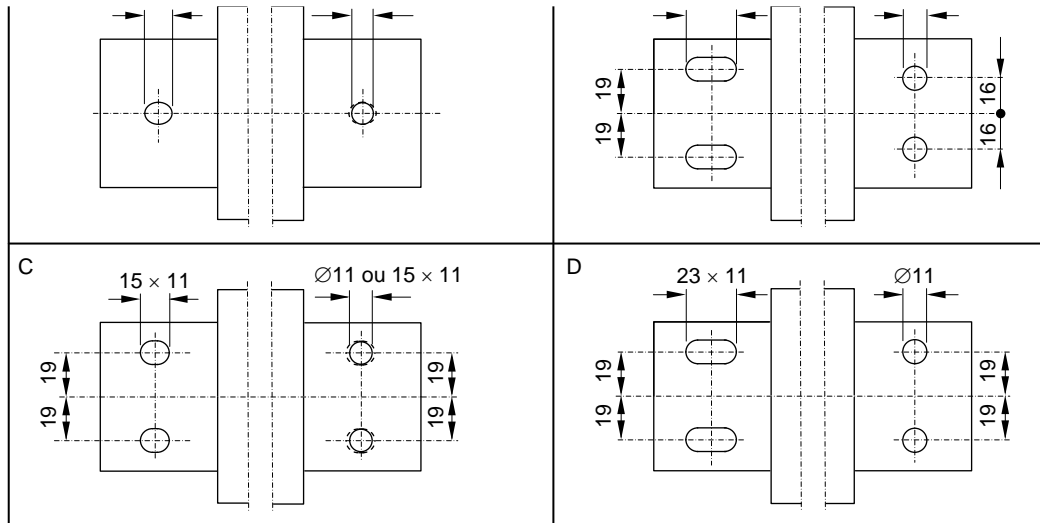
	FUSE-LINKS FOR CURRENT-LIMITING FUSES	Data sheet III
--	--	-------------------



* For tag D only.

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

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



IEC 1984/05

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.2 General

Normal service conditions as given in 2.1 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 [Annex F IEC/TR 62655:2013](#), [Annex A](#) and consult the manufacturer for information on fuse derating at surrounding temperatures above 40 °C).

E.3 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.4 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.5 Specific service conditions

The requirements in this annex are intended to cover the following service conditions. They are the same as those covered in informative Annex F 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 (see item c) of Clause F.2). It is important to note that the relevant fuse-link rated MAT is based on the temperature of the air or liquid outside the small enclosure or canister that is cooling it.

NOTE Other gasses than air may be used for cooling, for example SF₆

- 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.6 Additional breaking test requirements

E.6.1 Test practices

Breaking test practices shall be as specified in 6.3, 6.6.1 and as follows.

The following tests shall be performed in addition to those specified in 6.6, unless otherwise specified in this annex.

NOTE Testing in accordance with 6.6, 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 13, 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 6.6.1.1, 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 ~~(but see 9.3.2)~~. 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 13 are replaced with the tests specified in E.6.3.

E.6.2 Test procedure

Test procedures shall be as specified in 6.6.2, 6.6.3 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 oil-filled enclosures is being tested, for convenience, in air (see 6.6.1.5.2), 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 6.3 and 6.6. However, this is considered acceptable because Annex E testing is performed in addition to the tests covered in 6.6.

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 oil) 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.6.3 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.6.2.

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 E.7.

A two-part breaking test is then carried out as in item c) or d) of 6.6.3.1. The high-voltage current I_3 is determined from the thermal testing described in Clause E.7. 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.7 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.6.2, 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 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) Determination of derating when the ambient temperature of the fuse exceeds 40 °C~~

~~F.1 — Object~~

~~The object of this annex is to provide guidance on the determination of thermal derating of a fuse when the temperature around the fuse exceeds 40 °C. This may be caused by higher ambient temperature in a non-enclosed situation or by use in an enclosure. Hence methods are given for the following cases:~~

- ~~a) derating for use in ambient air temperature above 40 °C;~~
- ~~b) derating for use in relatively large enclosures;~~
- ~~c) derating for use in relatively small enclosures;~~
- ~~d) derating for use in enclosures with oil surrounding the fuse-links.~~

~~In addition, method e) may be used as an alternative to methods a), b), c) and d).~~

~~NOTE—Other methods of derating are used in certain countries; see the Bibliography.~~

~~F.2 — General~~

~~This standard gives guidance, see 9.3.2, on the selection of rated current of fuse-links and advises that the use of an enclosure may require a new maximum permissible continuous current I_{encl} to be established for the particular combination of fuse-link and enclosure. It further advises that the suitability for a specific application of the fuse-link in an enclosure is the responsibility of the supplier of the fuse enclosure package (FEP).~~

~~NOTE—FEP means the combination of the fuse in its enclosure.~~

~~The results of the power-dissipation tests (see 6.5), along with a method for determining enclosure temperature, will enable the FEP manufacturer to assess the maximum permissible continuous current which may be carried by any FEP, prior to confirmation by tests.~~

~~Many HV fuse-links are used for transformer circuit application, for which IEC 60787 gives guidance for the selection of fuse-links. As stated in item a) of Clause 3 of IEC 60787, these fuse-links should have relatively high operating currents in the 0,1 s region of the time-current characteristics. To meet this requirement, the fuse-link rated current is generally in excess of circuit full load current and, therefore, derating as determined using this annex will usually already be met.~~

~~The need for derating the fuse-link arises for one or other of the following reasons.~~

- ~~— To limit the internal hot-spot temperature to a value which will not cause deterioration. This value is dependent upon the specific fuse-link design.~~
- ~~— To ensure that contact temperatures do not exceed maximum values as given in Table 6 of this standard.~~

~~It is often the first of these requirements which determines the fuse-link rating. However, as cooling becomes more restrictive and current derating increases, the temperature drop from the fuse element to the exterior of the fuse barrel decreases. This leads to a shift from having the maximum load current determined by the hot-spot temperature of the elements to having it determined by the contact temperature.~~

- ~~a) Derating for use in ambient air temperatures above 40 °C~~

~~— On the assumption that the fuse-link rated current no longer applies when the ambient temperature surrounding the fuse-link exceeds 40 °C, Figure F.1 provides the percentage derating required as a function of ambient temperature. The various curves correspond to the values of maximum temperature of contacts and terminals as specified in Table 6.~~

~~It is stressed that the derating is based upon the maximum temperature limits of Table 6 and not actual temperatures achieved when conducting temperature rise tests according to 6.5 of this standard. This takes due account of fuse-links which are rated in such a way that their maximum temperature rise is below the maximum values allowable in Table 6. It is particularly applicable to minor ratings but can equally apply to major ratings. This derating allows for other factors within the fuse-link, particularly hot-spot temperature, and will generally lead to derating factors which err on the side of safety. The values obtained from Figure F.1 are intended to be used where more precise information is not available from the fuse-link manufacturer. Where such information is available, less onerous derating factors may be applicable.~~

~~b) Derating for use in relatively large enclosures~~

~~Within this category are typically three-phase box-type enclosures with significant heat dissipation from the fuse-links by convection. Although not necessarily constructed from metal, the clearances to the sides (and partitions, if any) of the box will be consistent with clearances required for electrical purposes appropriate to the medium immediately surrounding the fuse-links for non-shrouded metal-type enclosures.~~

~~For such enclosures, Figure F.1 may be used to assist in determining the I_{encl} value for the fuse-links when used in a given enclosure. If the temperature of the medium surrounding the fuses is known, then Figure F.1 is used to verify whether the I_{encl} is correct. However, the difficulty to be overcome is that the heat produced by the fuse-link has a direct effect on the temperature within the enclosure.~~

~~IEC 60890 gives a method for calculation of the temperature rise of air inside enclosures, and the same principles may be applied to enclosures containing HV fuse-links.~~

~~Consider the example shown in Figure F.2, and assume 100 A fuse-links with power dissipation of 85 W at rated current.~~

~~NOTE—Actual power dissipation values are obtained from the fuse-link manufacturer in accordance with 6.5.3.~~

~~Complete the table shown in Figure F.3 (a full explanation of the procedure is given in IEC 60890).~~

~~The completed table is shown in Figure F.4, and an I_{encl} value of 80 A has been assumed. The first section results in a value for effective cooling surface A_e . Constants K , d , x and c are obtained from IEC 60890. The effective power dissipation P requires some explanation.~~

~~It is necessary to assume an I_{encl} value and obtain the appropriate power dissipation. For the initial assessment in this example, an I_{encl} value of 80 A has been assumed giving a power dissipation of $(80/100)^2 \times 85 = 54,4$ W. The resultant temperature rise of the enclosure at the upper end is determined to be 37,5 K.~~

~~If Figure F.1 is now examined for a derating factor on bolted contacts (105 °C) and at an ambient temperature of 40 °C + 37,5 °C = 77,5 °C, the derating factor is seen to be 65 %. Hence, since the selected rated current of 100 A exceeds the rated current \times derating factor (i.e. 100 A \times 0,65 = 65 A), an I_{encl} value of 80 A is seen to be excessive.~~

~~The exercise must now be repeated, using a lower current. Hence consider 70 A, where power dissipation $(70 \times 100)^2 \times 85 = 41,6$ W. This in turn leads to a temperature rise of the enclosure at the upper end of 30,3 K. Now, if we examine Figure F.1 for an ambient temperature of 40 °C + 30,3 °C = 70,3 °C, the derating factor is seen to be 73 %. Hence the permissible rating of 0,73 \times 100 A = 73 A now exceeds the proposed I_{encl} value of 70 A and thus the latter is assessed as acceptable.~~

~~This example shows how the information available in Figure F.1 and in IEC 60890 can be used to assess an acceptable I_{encl} value for an FEP. Where there are other items of equipment or connections within the enclosure that produce appreciable power dissipation, then these values should be added to the power dissipation of the fuse-links.~~

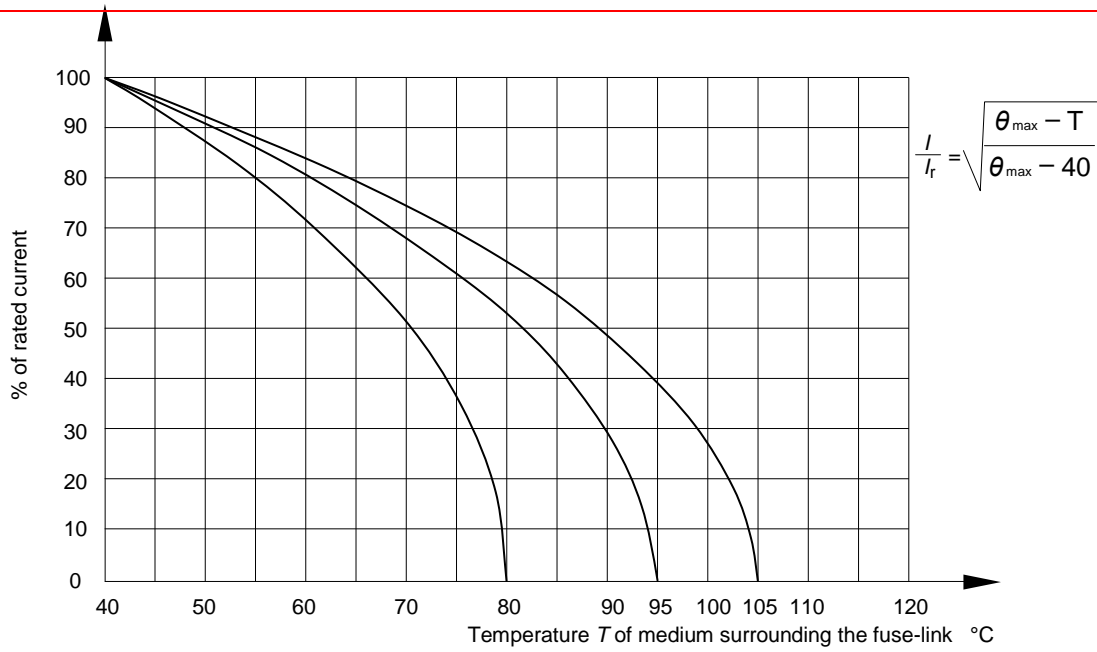
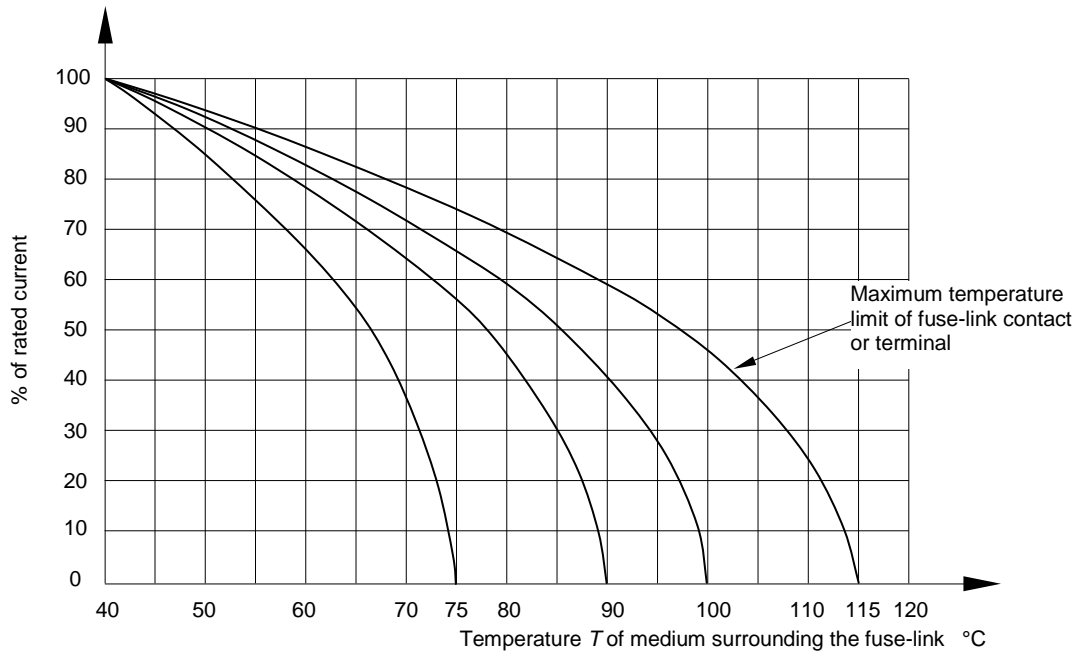
~~c) Derating for use in relatively small enclosures or canisters~~

~~The main characteristics of a canister, seen in the context of the derating of fuse-links are as follows.~~

- ~~— The canister is typically a single-phase enclosure.~~
- ~~— The distance between the outer surface of the fuse-link and the inner wall of the canister is small, typically 10 % to 25 % of the fuse-link diameter.~~
- ~~— Due to the narrow space, cooling by convection is of little significance, whereas radiation and conduction may dominate. The fuse-link and canister form an integrated assembly, and derating may often be based on the maximum power dissipation the assembly can withstand.~~
- ~~— Depending upon canister construction and materials used, the temperature of the interior of the canister may, in some cases, be the determining factor for the derating.~~
- ~~— Because of the close interaction of the canister and fuse-link, the derating of this combination can normally only be determined by measurement.~~
- d) ~~Derating for use in enclosures with oil surrounding the fuse-links~~
 - ~~— The rated currents of fuse-links intended for use under oil are determined by tests under relatively restricted conditions, designed to simulate service conditions (see 6.5.1.2). Hence derating, if any, within an enclosure is usually minimal. However, due account should be taken of external ambient temperatures above 40 °C.~~
 - ~~— Summary~~
 - ~~— Methods a) to d) provide a means of assessment and are not a substitute for actual tests expected to be carried out by the FEP manufacturer. When tests are conducted by the FEP manufacturer, then the results of those tests override any assessment made by use of this annex.~~
- e) ~~Alternative method for establishing derating~~
 - ~~— Where it is possible for the FEP manufacturer or end-user to make tests on the equipment complete with relevant fuses, the following method may be adopted for establishing the I_{encl} value for the FEP.~~
 - 1) ~~Obtain from the fuse manufacturer the value of watts dissipation (W_r) at rated current (I_r) of the fuse under the normal test conditions prescribed in this standard (see 6.5.3).~~
 - ~~— From this value, calculate the maximum permissible hot resistance of the fuse-link (W_r/I_r^2).~~
 - 2) ~~Install a set of three fuses as in service. Apply a gradually increasing value of test current until~~
 - ~~— the hot resistance (as given by dividing the voltage drop across each fuse-link by the current) reaches the value calculated in 1) above, or~~
 - ~~— the temperature rise on the fuse contacts and terminals reaches the permissible limits specified in 4.7.~~
 - 3) ~~The I_{encl} value for the fuse-link will be the lower of the following:~~
 - ~~that value which results in the maximum permissible hot resistance;~~
 - ~~that value which results in the appropriate maximum temperature specified in Table 6.~~
 - ~~It should also be noted that this annex is concerned with continuous full-load current requirements of associated and/or protected equipment such as transformers or motors. Use under cyclic overload conditions should be subject to agreement between manufacturer and user.~~

Table F.1 – Temperature limits extracted from Table 6

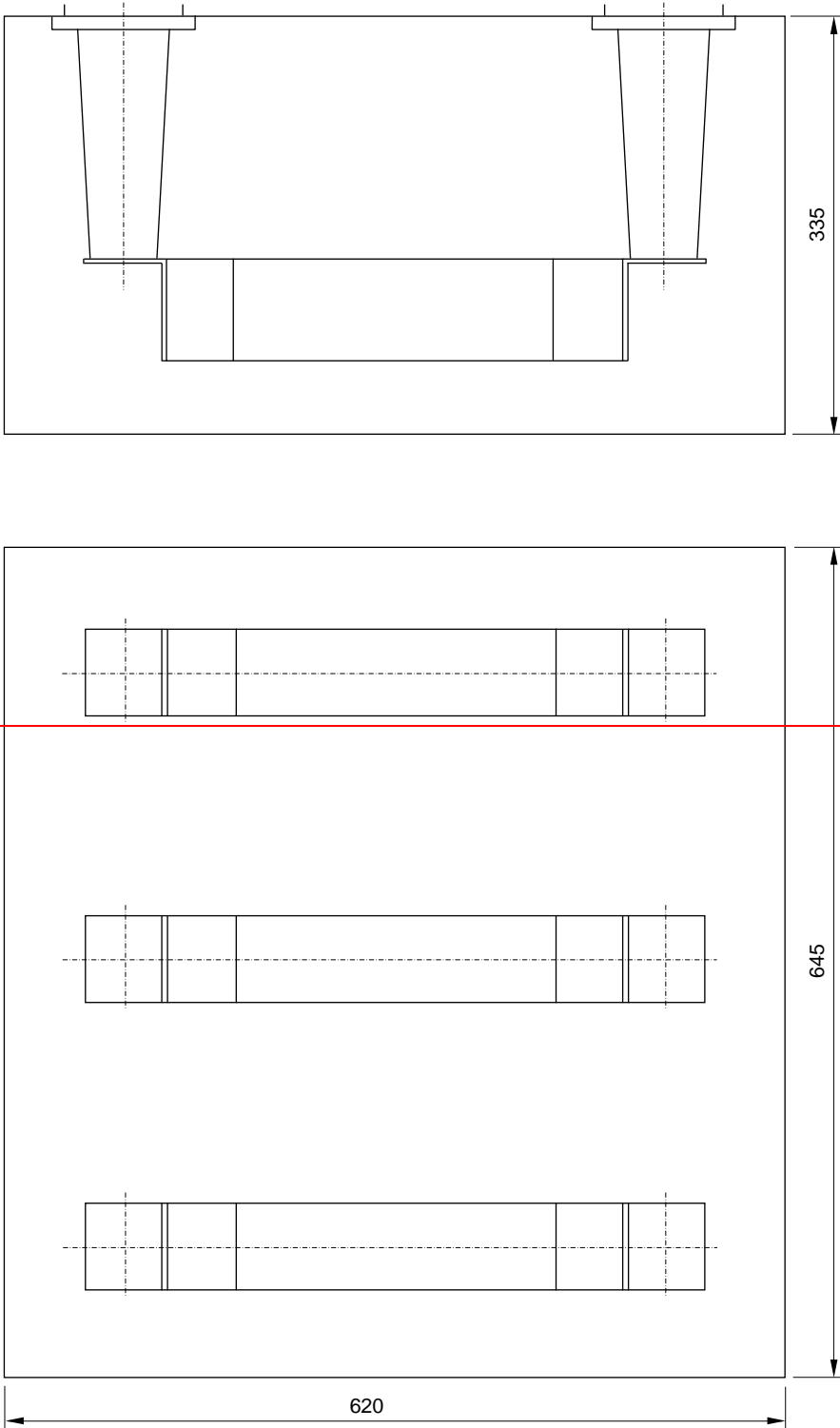
Temperature limits			
Maximum temperature °C	Medium	Type	Finish
75	air	Spring contact	Bare
80	oil	Spring contact	Bare
		Bolted contact	Bare
90	air	Bolted contact	Bare
		Bolted terminal	Bare
	oil	Spring contact	Silver, tin or nickel
95	air	Spring contact	Tin
100	oil	Bolted contact	Silver, tin or nickel
105	air	Spring contact	Silver or nickel
		Bolted contact	Tin
		Bolted terminal	Silver, tin or nickel
115	air	Bolted contact	Silver or nickel



IEC 1985/05

Figure F.1 — Derating curves for some allowed temperature limits

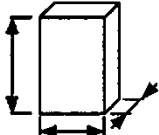
Dimensions in millimetres



IEC 1986/05

Figure F.2 – Practical example: dimensions

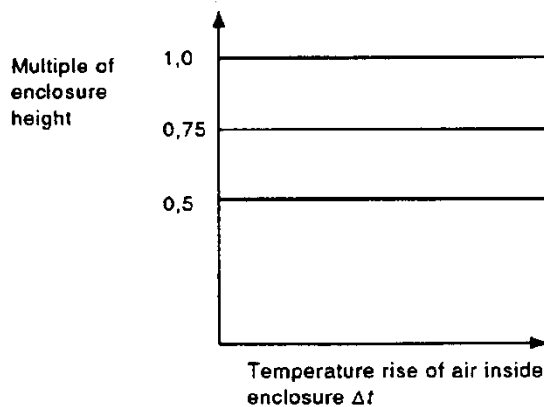
Calculation of temperature rise of air inside enclosures				
Customer/plant				
Type of enclosure				
Relevant dimensions for temperature rise	height	mm	Type of installation:	
	width	mm	Ventilation openings: yes/no	
	depth	mm	Number of horizontal partitions:	

Effective cooling surface		Dimensions	A_o	Surface factor b according to table III	$A_o \times b$ (column 3) \times (column 4)
		m x m	m ²		
			2	3	4
	Top				
	Front				
	Rear				
	Left-hand side				
Right-hand side					
$A_e = \Sigma (A_o \times b) = \text{Total}$					

With an effective cooling surface A_e	
Exceeding 1,25 m ²	Not exceeding 1,25 m ²
$f = \frac{h^{1,35}}{A_e}$ (see 5.2.3)	$g = \frac{h}{w}$ (see 5.2.3)

Air inlet openings	cm ²	
Enclosure constant k		
Factor for horizontal partitions d		
Effective power loss P	W	
$P^x = P^{***}$		
$\Delta t_{0,5} = k \cdot d \cdot P^x$	K	
Temperature distribution factor c		
$\Delta t_{1,0} = c \cdot \Delta t_{0,5}$	K	

Characteristic curve:



Extract from IEC 60890

IEC 1185/01

Figure F.3 – Extract from IEC 60890

Annex F
(informative)

Practical guidelines for thermal derating of current-limiting fuses

Annex A of IEC/TR 62655:2013 is to be used.

Annex G (informative)

Criteria for determining I_t testing validity

G.1 General

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.

G.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 must break (without help from the high current section) and the lowest current that the high current section must 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, 6.6.1.3 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 (IEV) – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

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

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

IEC/TR 60890:1987, *A method of temperature-rise assessment by extrapolation for partially type-tested assemblies (PTTA) of low-voltage switchgear and controlgear*

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

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	93
1 Généralités	95
1.1 Domaine d'application	95
1.2 Références normatives.....	95
2 Conditions normales et spéciales de service.....	96
2.1 Conditions normales de service	96
2.2 Autres conditions de service	97
2.3 Conditions spéciales de service.....	97
2.4 Comportement dans l'environnement.....	98
3 Termes et définitions	98
3.1 Caractéristiques électriques	98
3.2 Fusibles et leurs éléments constitutifs.....	101
3.3 Termes complémentaires.....	103
4 Valeurs assignées et caractéristiques	104
4.1 Généralités	104
4.2 Tension assignée (U_r)	105
4.3 Niveau d'isolement assigné (d'un socle).....	105
4.4 Fréquence assignée	107
4.5 Courant assigné du socle	107
4.6 Courant assigné de l'élément de remplacement (I_r).....	107
4.7 Limites d'échauffement.....	107
4.8 Pouvoir de coupure assigné.....	108
4.8.1 Courant maximal de coupure assigné (I_1)	108
4.8.2 Courant minimal de coupure assigné et classe	109
4.9 Surtensions de fonctionnement.....	109
4.10 Tension transitoire de rétablissement assignée (TTR assignée)	111
4.10.1 Généralités	111
4.10.2 Représentation de la TTR	113
4.10.3 Représentation des TTR assignées.....	113
4.11 Caractéristiques temps-courant	114
4.12 Caractéristiques d'amplitude du courant coupé limité	115
4.13 Caractéristiques I^2t	115
4.14 Caractéristiques mécaniques des percuteurs	115
4.15 Exigences spéciales pour les fusibles Associés destinés à être utilisés dans les combinés interrupteurs-fusibles selon l'IEC 62271-105.....	116
4.15.1 Généralités	116
4.15.2 Température maximale du corps du fusible dans les conditions de préarc.....	117
4.15.3 Temps d'arc maximal admissible.....	117
5 Conception, construction et performances	117
5.1 Exigences générales concernant le fonctionnement des fusibles	117
5.1.1 Généralités	117
5.1.2 Conditions normales d'utilisation	117
5.1.3 Conditions normales de comportement.....	118
5.2 Indications à porter sur les plaques signalétiques	119
5.3 Dimensions	119

6	Essais de type.....	119
6.1	Conditions d'exécution des essais	119
6.2	Liste des essais de type	120
6.3	Règles d'essais communes à tous les essais de type.....	120
6.3.1	Généralités	120
6.3.2	Etat de l'appareil à l'essai	120
6.3.3	Montage des fusibles	121
6.4	Essais diélectriques.....	121
6.4.1	Règles d'essais	121
6.4.2	Points d'application de la tension d'essai pour les essais aux ondes de choc et à fréquence industrielle.....	121
6.4.3	Conditions atmosphériques pendant l'essai	122
6.4.4	Essais à sec aux chocs de foudre	122
6.4.5	Essais de tension de tenue à sec à fréquence industrielle	122
6.4.6	Essais de tension de tenue sous pluie à fréquence industrielle	123
6.5	Essais d'échauffement et mesurage de la puissance dissipée	123
6.5.1	Règles d'essais	123
6.5.2	Mesurage de la température	124
6.5.3	Mesurage de la puissance dissipée.....	125
6.6	Essais de coupure.....	125
6.6.1	Règles d'essais	125
6.6.2	Modalités d'essai	132
6.6.3	Variantes de la méthode d'essais pour la suite d'essais 3.....	137
6.6.4	Essais de coupure pour les éléments de remplacement d'une série homogène	138
6.6.5	Qualification par interpolation d'une série homogène d'éléments de remplacement.....	139
6.6.6	Acceptation d'une série homogène d'éléments de remplacement de longueurs différentes	140
6.7	Essais de vérification de la caractéristique temps-courant.....	140
6.7.1	Règles d'essais	140
6.7.2	Méthode d'essai.....	141
6.8	Essais des percuteurs	141
6.8.1	Généralités	141
6.8.2	Percuteurs à essayer	142
6.8.3	Essais de fonctionnement	142
6.8.4	Résultats à obtenir au cours des essais	142
6.9	Compatibilité électromagnétique (CEM)	143
7	Essais spéciaux	143
7.1	Généralités	143
7.2	Liste des essais spéciaux.....	144
7.3	Essais de chocs thermiques	144
7.3.1	Echantillons d'essais	144
7.3.2	Mise en place de l'équipement	144
7.3.3	Méthode d'essai.....	144
7.4	Essais de puissance dissipée pour les fusibles dont l'utilisation sous enveloppes n'est pas prévue	145
7.5	Essai d'étanchéité (pénétration d'humidité).....	145
7.5.1	Conditions d'essai.....	145

7.5.2	Echantillon d'essai.....	145
7.5.3	Méthode d'essai.....	145
7.6	Essai pour les fusibles Associés destinés aux combinés interrupteurs-fusibles selon l'IEC 62271-105.....	145
7.6.1	Généralités.....	145
7.6.2	Essai d'échauffement en condition de préarc.....	145
7.6.3	Temps d'arc admissible.....	146
7.7	Essais d'étanchéité à l'huile au liquide isolant	146
7.7.1	Généralités.....	146
7.7.2	Essais d'étanchéité aux liquides pour les applications de type appareillage.....	146
7.7.3	Essais d'étanchéité aux liquides pour les applications de type transformateur.....	148
8	Essais individuels de série.....	152
9	Guide d'application.....	152
9.1	Objet.....	152
9.2	Généralités.....	153
9.3	Utilisation.....	153
9.3.1	Montage.....	153
9.3.2	Choix du courant assigné de l'élément de remplacement.....	153
9.3.3	Choix selon la classe (voir 3.3.2) et le courant minimal de coupure.....	155
9.3.4	Choix de la tension assignée de l'élément de remplacement.....	156
9.3.5	Choix du niveau d'isolement assigné.....	156
9.3.6	Caractéristiques temps-courant des fusibles à haute tension.....	157
9.3.7	Fusibles connectés en parallèle.....	158
9.4	Fonctionnement.....	158
9.4.1	Immobilisation du fusible dans la position de service.....	158
9.4.2	Remplacement des éléments de remplacement.....	158
9.5	Mise au rebut.....	158
	Annexe A (normative) Méthode de tracé de l'enveloppe de la tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit et détermination des paramètres représentatifs.....	160
	Annexe B (informative) Justification du choix des caractéristiques de TTR pour les suites d'essais 1, 2 et 3.....	162
	Annexe C (informative) Dispositif recommandé pour les essais d'échauffement des éléments de remplacement d'appareillage immergés dans l'huile.....	165
	Annexe D (informative) Types et dimensions des éléments de remplacement limiteurs de courant spécifiés dans les normes nationales existantes.....	167
	Annexe E (normative) Exigences relatives à certains types d'éléments fusibles conçus pour être utilisés dans un environnement dont la température est supérieure à 40 °C.....	170
	Annexe F (informative) Détermination du déclassement lorsque la température environnant le fusible est supérieure à 40 °C Guide pratique pour le déclassement thermique des fusibles limiteurs de courant.....	174
	Annexe G (informative) Critères pour déterminer la validité des essais I_t	183
	Bibliographie.....	185
	Figure 1 – Terminologie.....	102
	Figure 2 – Surtensions de fonctionnement admissibles pour les éléments de remplacement de faibles courants assignés (Tableau 8).....	111

Figure 3 – Représentation d'une TTR spécifiée par un tracé de référence à deux paramètres et par un segment de droite définissant un retard	114
Figure 4 – Différentes étapes de la course du percuteur.....	116
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	129
Figure 6 – Essais de coupure – Disposition de l'appareil	132
Figure 7 – Essais de coupure – Schéma type pour les suites d'essais 1 et 2	133
Figure 8 – Essais de coupure – Schéma type pour la suite d'essais 3.....	133
Figure 9 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes pour la suite d'essais 1	135
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).....	136
Figure 11 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes de la suite d'essais 3.....	136
Figure 12 – Séquence d'essai pour les applications de type appareillage	148
Figure 13 – Séquence d'essai pour l'essai combiné pour les applications de type transformateur.....	150
Figure 14 – Séquence d'essai pour la série a) essai pour les applications de type transformateur.....	151
Figure 15 – Séquence d'essai pour la série b) essai pour les applications de type transformateur.....	152
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	161
Figure A.2 – Exemple d'un tracé de référence à deux paramètres pour une TTR exponentielle.....	161
Figure C.1 – Cuve d'essai pour essais d'échauffement des fusibles immergés dans l'huile	165
Figure C.2 – Détail de la fixation de l'élément de remplacement de la cuve	166
Figure F.1 – Courbe de déclassement pour certaines limites de température autorisées	178
Figure F.2 – Exemple pratique: dimensions.....	179
Figure F.3 – Extrait de l'IEC 60890	180
Figure F.4 – Exemple pratique d'application.....	181
Tableau 1 – Facteurs de correction selon l'altitude – Tension d'essais et tension assignée.....	96
Tableau 2 – Facteurs de correction selon l'altitude – Courant assigné et échauffement	97
Tableau 3 – Tensions assignées.....	105
Tableau 4 – Niveaux d'isolement assigné du socle – Série I	106
Tableau 5 – Niveaux d'isolement assigné du socle – Série II	106
Tableau 6 – Limites de température et d'échauffement des pièces et des matériaux	108
Tableau 7 – Surtensions maximales de fonctionnement admissibles.....	109
Tableau 8 – Valeurs maximales admissibles de la surtension de fonctionnement pour certains éléments de remplacement de petits courants assignés	110
Tableau 9 – Valeurs normales de la TTR assignée – Série I.....	112
Tableau 10 – Valeurs normales de la TTR assignée – Série II.....	112
Tableau 11 – Caractéristiques mécaniques des percuteurs	116
Tableau 12 – Branchement électrique au circuit d'essai – Dimensions des conducteurs.....	123

Tableau 13 – Essais de coupure – Paramètres.....	127
Tableau 14 – TTR pour la suite d'essais 2 – Série I.....	130
Tableau 15 – TTR pour la suite d'essais 2 – Série II.....	130
Tableau 16 – Exigences d'essais de coupure pour les éléments de remplacement d'une série homogène	139
Tableau F.1 – Limites de température extraites du Tableau 6.....	177

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.

Cette version consolidée de l'IEC 60282-1 porte le numéro d'édition 7.1. Elle comprend la septième édition (2009-10) [documents 32A/274/FDIS et 32A/277/RVD] et son amendement 1 (2014-07) [documents 32A/311/FDIS et 32A/312/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts et les suppressions apparaissent en rouge, les suppressions étant barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

Cette publication a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60282 présentées 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 la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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

FUSIBLES À HAUTE TENSION –

Partie 1: Fusibles limiteurs de courant

1 Généralités

1.1 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.

Certains fusibles sont équipés d'éléments de remplacement pourvus d'un dispositif indicateur ou d'un percuteur. Ces fusibles rentrent dans le domaine d'application de la présente norme, mais le fonctionnement correct du percuteur lié au dispositif d'ouverture d'un appareil mécanique de connexion est en dehors du domaine d'application de cette norme; voir l'IEC 62271-105.

1.2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60060-1:1989, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

IEC 60071-1:2006, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

IEC 60085:2007, *Isolation électrique – Evaluation et désignation thermiques*

IEC 60265-1:1998, *Interrupteurs à haute tension – Partie 1: Interrupteurs pour tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 52 kV*

IEC 60549:1976, *Coupe-circuit à fusibles haute tension destinés à la protection externe des condensateurs de puissance en dérivation*

IEC 60644:1979, *Spécification relative aux éléments de remplacement à haute tension destinés à des circuits comprenant des moteurs*

IEC/TR 60787:2007, *Guide d'application pour le choix des éléments de remplacement limiteurs de courant à haute tension destinés à être utilisés dans des circuits comprenant des transformateurs*

IEC 62271-105:2002, *Appareillage à haute tension – Partie 105: Combinés interrupteurs-fusibles pour courant alternatif*

IEC TR 62655:2013, *Guide explicatif et d'application pour les fusibles à haute tension*

ISO 148-2, *Matériaux métalliques – Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy – Partie 2: Vérification des machines d'essai (mouton-pendule)*

ISO 179 (toutes les parties), *Plastiques – Détermination des caractéristiques au choc Charpy*

2 Conditions normales et spéciales de service

2.1 Conditions normales de service

Les fusibles conformes à la présente norme 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 seront modifiées aux températures minimale et maximale.

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

NOTE 2 Les tensions assignées et les niveaux d'isolement spécifiés dans cette norme s'appliquent aux fusibles prévus pour utilisation à des altitudes ne dépassant pas 1 000 m. Lorsque des fusibles comprenant une isolation externe sont utilisés à des altitudes supérieures à 1 000 m, il convient d'adopter l'une ou l'autre des méthodes suivantes.

- a) Il convient que les tensions d'essai des parties isolantes dans l'air soient déterminées en multipliant les tensions d'essai normales données dans les Tableaux 4 et 5 par le facteur de correction approprié indiqué dans la colonne (2) du Tableau 1.
- b) Les fusibles peuvent être choisis d'une tension assignée qui, multipliée par le facteur de correction approprié donné dans la colonne (3) du Tableau 1, ne soit pas inférieure à la tension la plus élevée du réseau.

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 –
Tension d'essais et tension assignée**

Altitude maximale m (1)	Facteur de correction des tensions d'essai au niveau de la mer (2)	Facteur de correction des tensions assignées (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.

NOTE 3 Le courant assigné ou l'échauffement spécifié dans cette norme peut être corrigé pour des altitudes supérieures à 1 000 m en utilisant les facteurs appropriés donnés dans le [Tableau 2](#), respectivement dans les colonnes (2) et (3). Dans chaque cas, un seul des facteurs donnés dans les colonnes (2) et (3) sera utilisé, mais non les deux.

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 – Courant assigné et échauffement

Altitude maximale m (1)	Facteur de correction pour le courant assigné (2)	Facteur de correction pour l'échauffement (3)
1 000	1,0	1,0
1 500	0,99	0,98
3 000	0,96	0,92

- 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 lignes directrices:
- 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 4 La condensation est à prévoir dans les lieux où de brusques variations de température risquent de se produire en période de grande humidité.

NOTE 5 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, on peut utiliser des fusibles pour l'intérieur, prévus pour de telles conditions et essayés en conséquence, ou des fusibles pour l'extérieur.

NOTE 6 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 d'humidificateurs.

- 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 y a lieu de tenir compte de la présence de condensation ou de pluie et des changements rapides de température;
- g) la pression du vent n'excède pas 700 Pa (correspondant à une vitesse de vent de 34 m/s);
- h) la radiation solaire ne dépasse pas 1,1 kW/m².

2.2 Autres conditions de service

Les fusibles conçus pour être utilisés avec une température environnante (voir 3.3.11) supérieure à 40 °C sont couverts par cette norme dans l'Annexe E.

2.3 Conditions spéciales de service

Par accord entre le constructeur et l'utilisateur, les fusibles peuvent être utilisés dans des conditions différant des conditions normales de service indiquées en 2.1. Pour toute condition spéciale de service, il y a lieu de consulter le constructeur.

2.4 Comportement dans l'environnement

Les fusibles conformes à la présente norme sont des dispositifs inertes en service normal. Il est aussi spécifié en 5.1.3 qu'aucune émission externe significative ne doit se produire. Ce sont donc des dispositifs non polluants en service et en fonctionnement.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

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, dispositif, matériel ou système

NOTE Exemples de valeurs assignées généralement indiquées pour des fusibles: tension, courant et pouvoir de coupure.

[VEI 441-18-35 modifié]

3.1.2

caractéristiques assignées

ensemble des valeurs assignées et des conditions de fonctionnement

[VEI 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 Voir en 6.6.2.1 et 6.6.2.2 la méthode pour évaluer et pour exprimer le courant présumé.

[VEI 441-17-01, modifiée]

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 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 on ne considère que le courant dans un seul pôle.

[VEI 441-17-02]

3.1.5

courant coupé présumé

courant présumé évalué à l'instant correspondant au début du phénomène de coupure

[VEI 441-17-06]

NOTE Pour les fusibles, cet instant est habituellement choisi comme l'instant du début d'un arc au cours d'une coupure. Les conventions relatives à l'instant du début de l'arc sont données en 6.6.2.3.

3.1.6

pouvoir de coupure

valeur de courant présumé qu'un **fusible élément de remplacement** est capable d'interrompre sous une tension fixée dans des conditions prescrites d'emploi et de comportement

~~[VEI 441-17-08, modifiée]~~ [SOURCE: IEC 60050-441, 441-17-08, modifiée (modification de la définition et suppression des Notes)]

3.1.7 courant coupé limité

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

NOTE 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.

[VEI 441-17-12, modifiée]

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 le ou les éléments fusibles jusqu'à l'instant où un arc commence à se former

[VEI 441-18-21]

3.1.9 durée d'arc

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

[VEI 441-17-37, modifiée]

3.1.10 durée de fonctionnement

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

[VEI 441-18-22]

3.1.11 intégrale de Joule

I^2t

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 Le I^2t de préarc est l'intégrale I^2t pour la durée de préarc du fusible.

NOTE 2 Le I^2t de fonctionnement est l'intégrale I^2t pour la durée de fonctionnement du fusible.

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

[VEI 441-18-23 modifié]

3.1.12 durée virtuelle

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

NOTE Les valeurs des durées virtuelles, généralement indiquées pour un élément de remplacement, se rapportent à la durée de préarc et la durée de fonctionnement.

[VEI 441-18-37 modifié]

3.1.13 caractéristique temps-courant

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

[VEI 441-17-13]

3.1.14 caractéristique de courant coupé limité

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

NOTE 1 ~~En courant alternatif~~, Les valeurs du courant coupé limité sont les valeurs maximales qui peuvent être atteintes quel que soit le degré d'asymétrie. ~~En courant continu, ce sont les valeurs du courant coupé limité maximales atteintes compte tenu de la constante de temps spécifiée.~~

~~[VEI 441-17-14]~~ [SOURCE: IEC 60050-441, 441-17-14, modifiée (modification de la définition et de 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 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 ~~ou en régime établi~~ existe seule.

~~[VEI 441-17-25, modifiée]~~ [SOURCE: IEC 60050-441, 441-17-25, modifiée (modification de la définition et de la Note à l'article)]

3.1.16 tension transitoire de rétablissement (abréviation TTR)

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

NOTE 1 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 d'un circuit polyphasé.

NOTE 2 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.

[VEI 441-17-26, modifiée]

3.1.17 tension de rétablissement à fréquence industrielle

tension de rétablissement après la disparition des phénomènes transitoires de tension

[VEI 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 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, on suppose en outre que la coupure du courant par l'appareil de connexion idéal n'a lieu que sur le pôle considéré.

[VEI 441-17-29, modifiée]

3.1.19

surtension de fonctionnement – tension de coupure

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

NOTE La tension de coupure peut être la tension d'arc ou peut se produire en même temps que la tension transitoire de rétablissement.

[VEI 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

[VEI 441-18-29]

3.1.21

puissance dissipée (dans un élément de remplacement)

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

NOTE Les conditions prescrites d'emploi et de comportement comprennent généralement une valeur efficace constante de courant jusqu'à l'obtention de conditions stables de température.

[VEI 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

3.2 Fusibles et leurs éléments constitutifs

3.2.1

fusible

coupe-circuit à fusibles

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 dans lequel il est inséré 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

[VEI 441-18-01]

3.2.2

borne

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

NOTE On peut distinguer les bornes 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.).

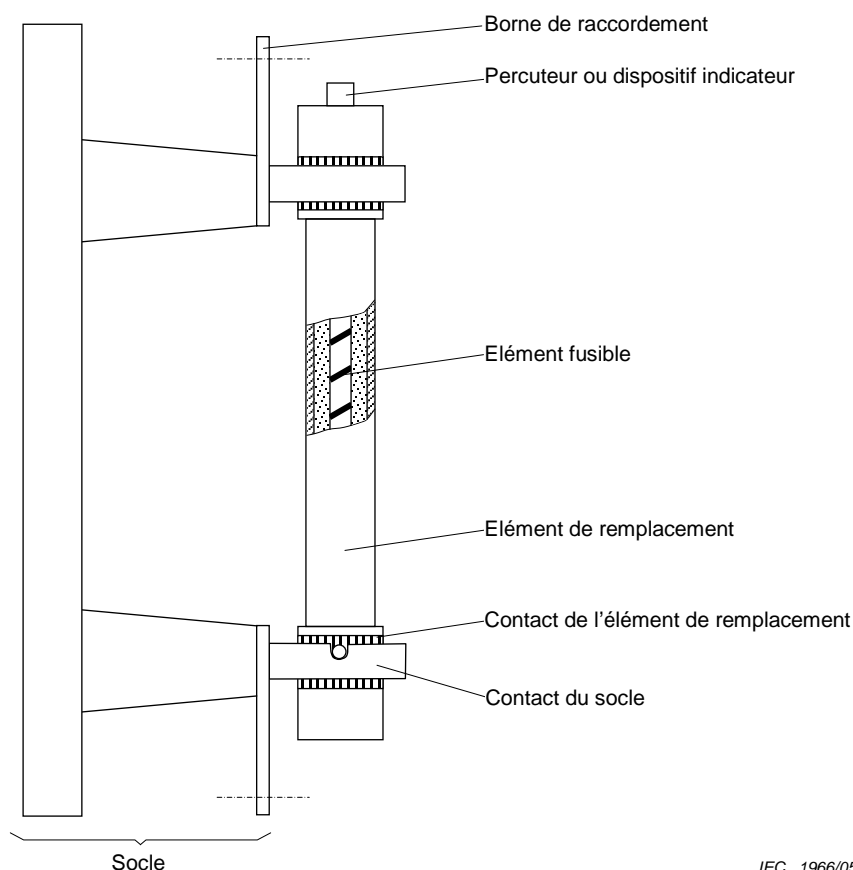
3.2.3

socle

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

NOTE Le socle comprend tous les éléments assurant l'isolement (voir [Figure 1](#)).

[VEI 441-18-02]



IEC 1966/05

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 ou avec celui d'un porte-élément de remplacement (voir [Figure 1](#))

[VEI 441-18-03, modifiée]

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](#))

[VEI 441-18-09]

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](#))

[VEI 441-18-04, modifiée]

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](#))

[VEI 441-18-08]

3.2.8

dispositif indicateur

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

[VEI 441-18-17]

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

[VEI 441-18-18]

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

[VEI 441-18-10, modifiée]

3.3.2

classes

trois classes de fusibles limiteurs de courant sont définies selon la zone dans laquelle ils peuvent être utilisés:

- fusible Associé
- fusible d'Usage Général
- fusible à Coupure Intégrale

Voir ~~9.3.3~~ [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 d'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 ~~le~~ **une valeur faible égale au** courant provoquant la fusion de l'élément fusible en ~~au~~ **moins** 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 6.6.1.1, 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

[VEI 441-18-06, modifiée]

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 6.6.4.1)

[VEI 441-18-34]

3.3.8

isolation externe

distances dans l'air à pression atmosphérique et surfaces en contact avec l'atmosphère des isolations solides d'un matériel qui sont soumises aux contraintes diélectriques et à l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres agents externes tels que la pollution, l'humidité, les animaux, etc.

[VEI 604-03-02 modifié]

3.3.9

isolation autorégénératrice

isolation qui retrouve intégralement ses propriétés isolantes après une décharge disruptive

[VEI 604-03-04]

3.3.10

élément fusible dit «organique»

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

3.3.11

température environnante

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

4 Valeurs assignées et caractéristiques

4.1 Généralités

a) Valeurs assignées du socle

- 1) Tension assignée (4.2)
- 2) Courant assigné (4.5)
- 3) Niveau d'isolement assigné (tensions de tenue à fréquence industrielle à sec, sous l'effet de la pluie et des ondes de choc) (4.3)

b) Valeurs assignées de l'élément de remplacement

- 1) Tension assignée (4.2)
- 2) Courant assigné (4.6)
- 3) Courant maximal de coupure assigné (4.8.1)
- 4) Fréquence assignée (4.4)
- 5) Courant minimal de coupure assigné pour fusibles Associés ~~et classe~~ (4.8.2)
- 6) TTR assignée (4.10)

c) Caractéristiques du fusible

- 1) Limites d'échauffement (4.7)
- d) Caractéristiques de l'élément de remplacement
 - 1) Classe (3.3.2 et 4.8.2)
 - 2) Surtensions de fonctionnement (4.9)
 - 3) Caractéristiques temps-courant (4.11)
 - 4) Caractéristique d'amplitude du courant coupé limité (4.12)
 - 5) Caractéristiques I^2t (4.13)
 - 6) Caractéristiques mécaniques des perceurs (4.14)
 - 7) Température maximale d'utilisation (voir Annexe E).

4.2 Tension assignée (U_T)

~~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 1 Cette tension assignée ~~est égale à~~ représente la tension la plus élevée du matériel (voir ~~Article 8 IEC 60038~~).

NOTE 2 Sur les réseaux triphasés mis directement à la terre, les fusibles ne peuvent être utilisés que si la tension réseau la plus élevée est inférieure ou égale à leur tension assignée. Avec les réseaux monophasés ou non mis directement à la terre, les fusibles ne peuvent être utilisés que si la tension réseau la plus élevée est inférieure ou égale à 87% de leur tension assignée, à moins que des essais spécifiques n'aient été réalisés (voir IEC/TR 62655:2013, 5.1.3).

Il convient que la tension assignée d'un fusible soit choisie parmi les tensions indiquées dans le [Tableau 3](#).

Tableau 3 – Tensions assignées

Série I kV	Série II kV
3,6	2,75
7,2	5,5
12	8,25
17,5	15
24	15,5
36	25,8
40,5	38
52	48,3
72,5	72,5

4.3 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 ~~Article 8 IEC/TR 62655:2013, 4.5~~).

Deux niveaux ~~d'isolement sont acceptables de tenue diélectrique sont reconnus~~ 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 ~~différentes~~ valeurs de tension d'essai correspondantes pour les essais diélectriques (voir ~~9.3.5 IEC/TR 62655:2013, 4.5.2~~).

Il est recommandé que le niveau d'isolement assigné d'un socle soit choisi dans les [Tableaux 4](#) et [5](#).

- Le **Tableau 4** est basé sur la pratique en Europe et les conditions normales de référence pour la température, la pression et l'humidité sont 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 normales de référence pour la température, la pression et l'humidité sont 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 (à sec et sous pluie)	
	Liste 1 kV (valeur de crête)		Liste 2 kV (valeur de crête)		kV (valeur efficace)	
	A la masse et entre pôles	Sur la distance de sectionnement du socle (voir note)	A la masse et entre pôles	Sur la distance de sectionnement du socle (voir note)	A la masse et entre pôles	Sur la distance de sectionnement du socle (voir note)
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

NOTE Un niveau d'isolement pour la distance de sectionnement n'est spécifié que pour les socles pour lesquels des propriétés de sectionnement sont assignées.

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)				Tension de tenue assignée à fréquence industrielle					
	kV (valeur de crête)				kV (valeur efficace)					
	A la masse et entre pôles		Sur la distance de sectionnement du socle (voir note)		A la masse et entre pôles		Sur la distance de sectionnement du socle (voir note)			
	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur 1 min à sec	Extérieur		Intérieur 1 min à sec	Extérieur	
1 min à sec						10 s sous pluie	1 min à sec		10 s sous pluie	
2,75	45	–	50	–	15	–	–	17	–	–
4,76	60	–	70	–	19	–	–	21	–	–
8,25	75	95	80	105	26	35	30	29	39	33
15	95	–	105	–	36	–	–	40	–	–
15,5	110	110	125	125	50	50	45	55	55	50
25,8	125	150	140	165	60	70	60	66	77	66
38	150	200	165	220	80	95	80	88	105	88
48,3	–	250	–	275	–	120	100	–	132	110
72,5	–	350	–	385	–	175	145	–	195	160

NOTE Un niveau d'isolement pour la distance de sectionnement n'est spécifié que pour les socles pour lesquels des propriétés de sectionnement sont assignées.

4.4 Fréquence assignée

Les valeurs normales de la fréquence assignée sont 50 Hz et 60 Hz.

4.5 Courant assigné du socle

Courant spécifié pour le socle, qu'un socle neuf et propre peut supporter d'une façon continue sans que les échauffements dépassent les valeurs spécifiées, lorsqu'il est équipé d'un élément de remplacement de même courant assigné destiné à être utilisé dans ce type de socle et raccordé au circuit au moyen de conducteurs ayant certaines dimensions et certaines longueurs spécifiées et pour une température de l'air ambiant ne dépassant pas 40 °C.

Il convient que le courant assigné du socle soit choisi parmi les valeurs suivantes:

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

4.6 Courant assigné de l'élément de remplacement (I_r)

Courant spécifié pour l'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 constructeur, raccordé au circuit au moyen de conducteurs ayant certaines dimensions et certaines longueurs spécifiées et pour une température de l'air ambiant ne dépassant pas 40 °C (voir ~~Article 8 IEC/TR 62655:2013~~).

Il est recommandé que le courant assigné de l'élément de remplacement, en ampères, soit choisi 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.

4.7 Limites d'échauffement

L'élément de remplacement et le socle doivent être capables de supporter de façon continue leur courant assigné sans que les limites d'échauffement données dans le [Tableau 6](#) soient dépassées et sans détérioration.

NOTE 1 Pour les fusibles utilisés dans des enveloppes, voir 6.5.3, ~~9.3.2 et l'Annexe F~~ l'IEC/TR 62655:2013, 5.1.1.2 et l'Annexe A.

NOTE 2 Par conséquent, lorsque le terme "huile" est employé dans la présente norme, on traite de tout liquide isolant approprié. Les liquides isolants appropriés sont ceux agréés par le constructeur de fusibles.

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.

Tableau 6 – Limites de température et d'échauffement des pièces et des matériaux

Nature du matériau ou de l'élément	Valeur maximale	
	Température °C	Echauffement K
<i>A Contacts dans l'air:</i>		
1 Contacts élastiques (cuivre et alliage de cuivre)		
– sans protection	75	35
– recouverts d'argent ou de nickel	105	65
– recouverts d'étain	95	55
– recouverts d'autres métaux (note de bas de page a)		
2 Contacts boulonnés ou dispositifs équivalents (cuivre, alliage de cuivre et alliage d'aluminium)		
– sans protection	90	50
– recouverts d'étain	105	65
– recouverts d'argent ou de nickel	115	75
– recouverts d'autres métaux (note de bas de page a)		
<i>B Contacts dans l'huile en cuivre ou l'alliage de cuivre:</i>		
1 Contacts élastiques		
– sans protection	80	40
– recouverts d'argent, d'étain ou de nickel	90	50
– recouverts d'autres métaux (note de bas de page a)		
2 Contacts boulonnés		
– sans protection	80	40
– recouverts d'argent, d'étain ou de nickel	100	60
– recouverts d'autres métaux (note de bas de page a)		
<i>C Bornes boulonnées dans l'air:</i>		
– sans protection	90	50
– recouvertes d'argent, d'étain ou de nickel	105	65
– recouvertes d'autres métaux (note de bas de page a)		
<i>D Pièces métalliques formant ressorts (note de bas de page b)</i>		
<i>E Matériaux utilisés comme isolants et pièces métalliques en contact avec des isolants des classes suivantes (note de bas de page c):</i>		
Classe Y (pour les matériaux non imprégnés)	90	50
Classe A (pour matériaux immergés dans l'huile ou imprégnés)	100	60
Classe E	120	80
Classe B	130	90
Classe F	155	115
Émail: à base d'huile	100	60
synthétique	120	80
Classe H	180	140
Autres classes (note de bas de page d)		
<i>F Huile (notes de bas de page e et f)</i>	90	50
<i>G Toute pièce métallique ou en matériau isolant en contact avec l'huile à l'exception des contacts et des ressorts</i>	100	60
<p>^a Si le constructeur utilise d'autres métaux de protection que ceux indiqués dans le Tableau 6, il convient de prendre en considération les propriétés de ces métaux.</p> <p>^b Il est recommandé que la température ou l'échauffement n'atteignent pas une valeur telle que l'élasticité du métal en soit modifiée.</p> <p>^c Classes suivant l'IEC 60085.</p> <p>^d Limitée seulement par la nécessité de ne pas provoquer de détérioration des pièces environnantes.</p> <p>^e A la partie supérieure de l'huile.</p> <p>^f Il convient de prêter une attention particulière aux questions de vaporisation et d'oxydation lorsqu'on utilise une huile de faible point d'éclair. La valeur de température donnée peut être dépassée pour les applications de type transformateur et/ou si des liquides synthétiques ou d'autres liquides isolants appropriés sont utilisés (voir 7.7.3 et IEC 60076-7).</p>		

4.8 Pouvoir de coupure assigné

4.8.1 Courant maximal de coupure assigné (I_c)

~~Valeur du courant de coupure spécifié pour un fusible.~~

Il convient que le courant maximal de coupure assigné de l'élément de remplacement, 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.

4.8.2 Courant minimal de coupure assigné et classe

Le constructeur 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 d'Usage Général, il peut indiquer le courant minimal de coupure.

4.9 Surtensions de fonctionnement

Les valeurs de surtension en cours de fonctionnement pour toutes les suites d'essais ne doivent pas dépasser celles données dans les Tableaux 7 et 8.

Sur demande, le constructeur doit indiquer la valeur maximale des surtensions de fonctionnement telles qu'elles sont mesurées lors des essais de coupure (voir 6.6).

Tableau 7 – Surtensions maximales de fonctionnement admissibles

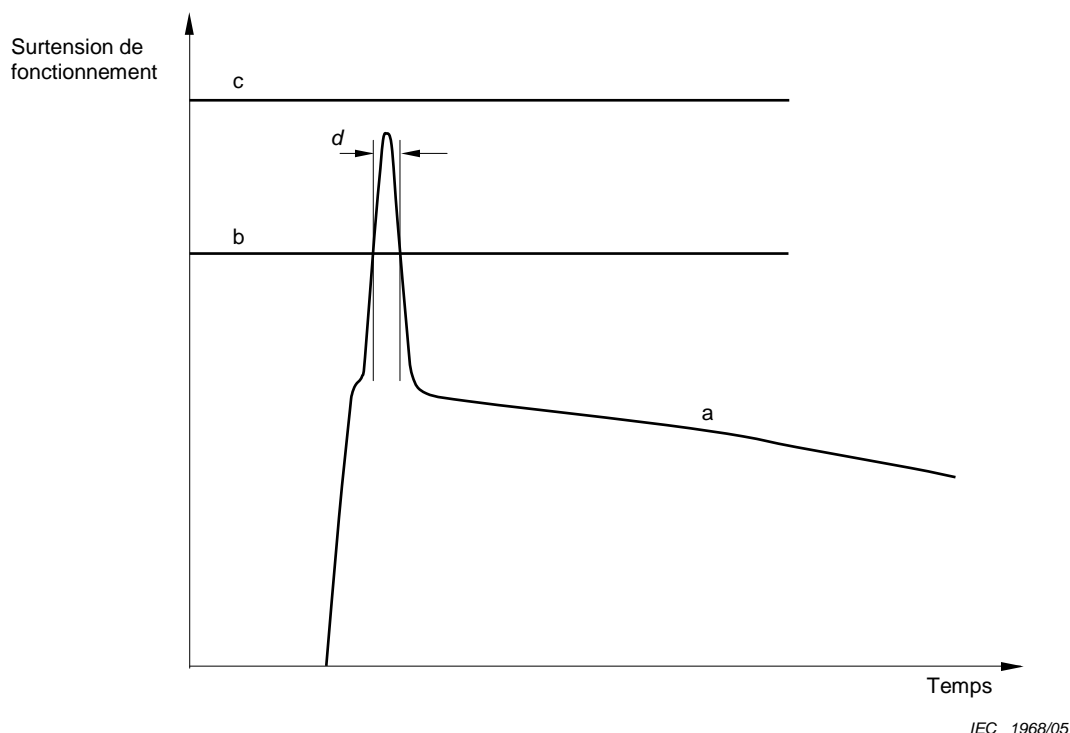
Série I		Série II	
Tension assignée	Valeur maximale de la surtension de fonctionnement	Tension assignée	Valeur maximale de la surtension de fonctionnement
kV	kV	kV	kV
3,6	12	2,75	8
7,2	23	5,5	18
12	38	8,25	26
17,5	55	15	47
24	75	15,5	49
36	112	22	70
40,5	126	25,8	81
52	162	27	84
72,5	226	38	119
		48,3	150
		72,5	226

Tableau 8 – Valeurs maximales admissibles de la surtension de fonctionnement pour certains éléments de remplacement de petits courants assignés

Série I jusque et y compris 3,2 A		Série II jusque et y compris 12 A	
Tension assignée	Valeur maximale de la surtension de fonctionnement (notes de bas de page a et b) kV	Tension assignée	Valeur maximale de la surtension de fonctionnement (note de bas de page b) kV
3,6	26	2,75	13
7,2	36	5,5	25
12	50	8,25	38
17,5	63	15	68
24	85	15,5	70
36	120	22 à 25,8	117
		27	123
		38	173

^a Pour les matériels de tensions assignées de la série I, les surtensions de fonctionnement spécifiées au Tableau 8 ne sont admissibles que pour les tensions de tenue assignées aux chocs de foudre de la liste 2 (voir 4.3).

^b Les valeurs des surtensions de fonctionnement peuvent dépasser les limites données au Tableau 7 pour une durée n'excédant pas 200 µs mais ne doivent pas dépasser les limites données au Tableau 8 (voir [Figure 2](#)).



Légende

- a Courbe de la surtension de fonctionnement
- b Limite de la surtension de fonctionnement – [Tableau 7](#)
- c Limite de la surtension de fonctionnement – [Tableau 8](#)
- d $\leq 200 \mu\text{s}$

Figure 2 – Surtensions de fonctionnement admissibles pour les éléments de remplacement de faibles courants assignés ([Tableau 8](#))

4.10 Tension transitoire de rétablissement assignée (TTR assignée)

4.10.1 Généralités

La tension transitoire de rétablissement assignée associée au courant maximal de coupure assigné (conformément à 4.8) est la tension de référence qui constitue la limite supérieure de la tension transitoire de rétablissement présumée des circuits que le fusible doit pouvoir couper lors d'un court-circuit.

Les valeurs normales de la TTR assignée sont indiquées dans les Tableaux 9 et 10. Ces valeurs s'appliquent au courant maximal de coupure assigné d'un fusible.

Tableau 9 – Valeurs normales de la TTR assignée – Série I

Tension assignée	Paramètres de base		Valeurs dérivées			
	Valeur de crête de la tension	Temps	Retard ^a (note de bas de page a)	Coordonnée de tension ^b (note de bas de page b)	Coordonnée temporelle ^c Temps (note de bas de page c)	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	6,6 19,8	29,5	54 63,8	0,68
72,5	124	168	8,4	41,5	64	0,74

^a $t_d = 0,15 t_3$ pour $U_r \leq 52$ kV
et $t_d = 0,05 t_3$ pour $U_r \geq 52$ kV

^b $u' = 1/3 u_c$ avec $u_c = 1,4 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

^c $t' = (0,15 + 1/3) t_3$ pour $U_r \leq 52$ kV
et $t' = (0,05 + 1/3) t_3$ pour $U_r \geq 52$ kV

Tableau 10 – Valeurs normales de la TTR assignée – Série II

Tension assignée	Paramètres de base		Valeurs dérivées			
	Valeur de crête de la tension	Temps	Retard (note de bas de page a)	Tension (note de bas de page b)	Temps (note de bas de page c)	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
2,75	4,7	37	5,5	1,6	18,1	0,127
5,5	9,4	46	6,9	3,1	22,2	0,204
8,25	14,4	54	8,1	4,8	26,1	0,266
15	25,7	66	9,9	8,6	32,0	0,390
15,5	26,6	67	10,0	8,8	32,2	0,400
25,8	44	91	13,6	14,7	44,0	0,48
38	65	111	16,6	21,7	53,6	0,58
48,3	83	127	19,0	27,6	61,2	0,65
72,5	124	168	8,4	41,5	64	0,74

^a $t_d = 0,15 t_3$ pour $U_r \leq 48,3$ kV
et $t_d = 0,05 t_3$ pour $U_r > 48,3$ kV

^b $u' = 1/3 u_c$ avec $u_c = 1,4 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

^c $t' = (0,15 + 1/3) t_3$ 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 ou lorsque les fusibles sont destinés à des installations où les conditions sont plus sévères.

La tension transitoire de rétablissement assignée correspondant au courant maximal de coupure assigné est utilisée pour les essais dont le courant de coupure est égal à la valeur assignée avec la dérogation admise en 6.6.1.2.2. Pour les essais effectués à un courant de coupure inférieur à la valeur assignée, d'autres valeurs de la tension transitoire de rétablissement sont spécifiées (voir 6.6.1.2.3).

4.10.2 Représentation de la TTR

La forme d'onde des tensions transitoires de rétablissement est variable suivant la configuration des circuits réels.

Pour les fusibles tombant dans le domaine d'application de cette norme, 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 constituée par deux segments de droite définis par deux paramètres (tracé de référence) (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. On en tient compte par l'introduction d'un retard.

Cette représentation s'applique à la fois aux tensions transitoires de rétablissement assignées et aux autres tensions transitoires de rétablissement spécifiées qui sont représentées par des tracés de référence à deux paramètres associés à des segments de droite définissant un retard.

4.10.3 Représentation des TTR assignées

On utilise les paramètres suivants pour représenter les TTR assignées (voir [Figure 3](#)):

- u_c : crête de tension de la TTR en kilovolts;
- t_3 : temps pour atteindre la tension u_c en microsecondes.

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).

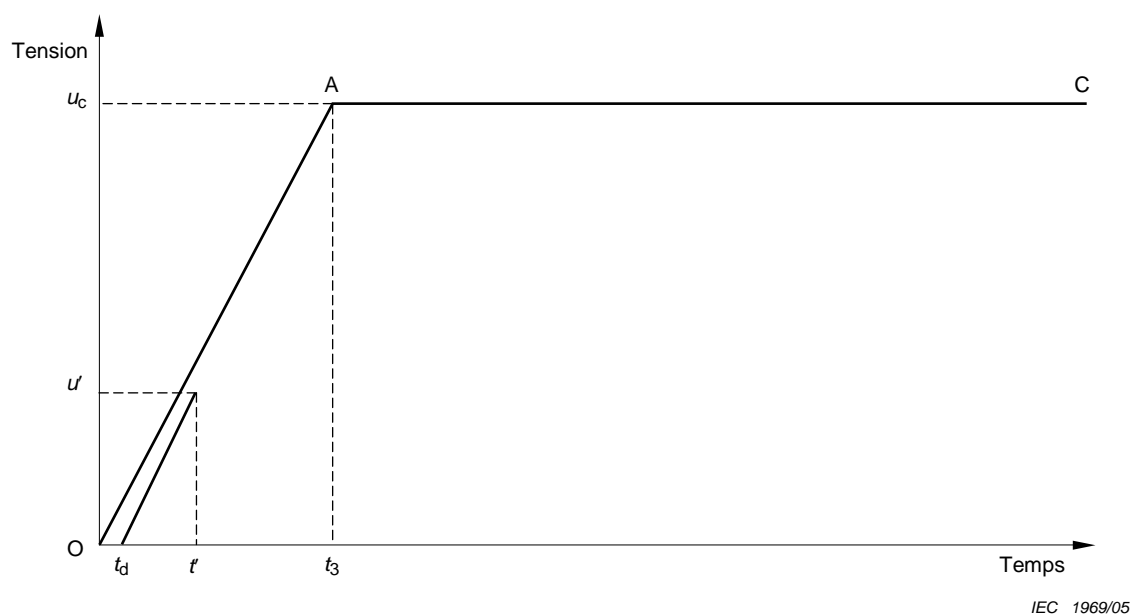


Figure 3 – Représentation d'une TTR spécifiée par un tracé de référence à deux paramètres et par un segment de droite définissant un retard

4.11 Caractéristiques temps-courant

Les caractéristiques temps-courant des éléments de remplacement sont fixés comme suit: le courant est appliqué à un élément de remplacement neuf et sans charge préalable placé dans un socle spécifié par le constructeur, raccordé au circuit d'essai au moyen de conducteurs ayant les dimensions et les longueurs spécifiées en 6.5.1.2.

Sauf spécification contraire, les caractéristiques temps-courant doivent être jugées applicables à une température ambiante de 20 °C.

Le constructeur doit fournir des courbes déterminées à partir des résultats obtenus lors des essais de vérification de la caractéristique temps-courant spécifiés en 6.7.2.

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.

NOTE Il est recommandé d'utiliser, si possible, les valeurs 2,8 et 5,6.

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 on prend des valeurs moyennes, la tolérance ne doit pas dépasser $\pm 20\%$. Si on prend des valeurs minimales, la tolérance ne doit pas dépasser $+50\%$;
- le type et les caractéristiques assignées de l'élément de remplacement auquel les courbes s'appliquent;
- la zone de temps suivant les spécifications de 6.7.2.2. 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.

Afin de coordonner les fusibles entre eux ou avec d'autres dispositifs de protection, il est permis d'utiliser les caractéristiques temps-courant applicables pour des durées supérieures à 0,1 s.

Lorsque des courants de défaut plus intenses conduisent à un fonctionnement éventuel en des temps inférieurs à 0,1 s, il est permis d'utiliser les données applicables de I^2t de préarc et de I^2t de fonctionnement (voir notes 1 et 2 de 3.1.11).

4.12 Caractéristiques d'amplitude du courant coupé limité

Le constructeur doit indiquer la limite supérieure du courant coupé limité correspondant à chaque valeur de courant présumé coupé jusqu'au courant maximal de coupure assigné du fusible dans les conditions spécifiées lors des essais de coupure en 6.6.

Il doit être précisé si la caractéristique s'applique à 50 Hz ou 60 Hz.

4.13 Caractéristiques I^2t

Le constructeur 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 de la présente norme, 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.

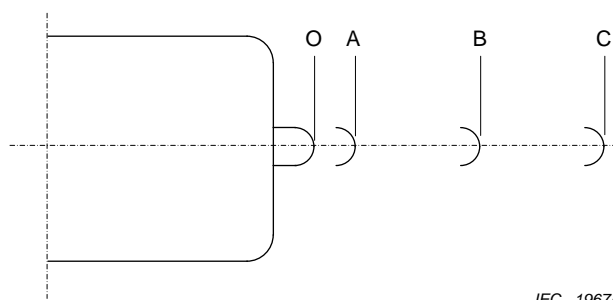
La présentation des valeurs de I^2t peut être faite sous la forme d'un simple tableau ou d'un diagramme (par exemple histogramme) ou peut utiliser une forme graphique avec le courant présumé en abscisse et I^2t en ordonnée, les deux échelles étant logarithmiques aux dimensions préférentielles indiquées en 4.12.

Les valeurs de I^2t déterminées à partir des essais de type de coupure spécifiés en 6.6 ne doivent pas être supérieures (pour I^2t de fonctionnement) ou inférieures (pour I^2t de préarc) aux valeurs fixées par le constructeur.

4.14 Caractéristiques mécaniques des percuteurs

Les percuteurs peuvent être classés suivant la quantité d'énergie qu'ils sont capables de fournir entre deux points spécifiés A et B (voir [Figure 4](#)) de leur course à un appareil mécanique de connexion ou à un dispositif de signalisation et 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'on applique un effort statique externe.

Les caractéristiques mécaniques des percuteurs sont données dans le [Tableau 11](#).



IEC 1967/05

Légende

- OA Course libre – Pas de niveau d'énergie spécifiée
- AB Course additionnelle pendant laquelle ~~il faut que~~ l'énergie ~~spécifiée soit 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 (si applicable)

Figure 4 – Différentes étapes de la course du percuteur

Tableau 11 – Caractéristiques mécaniques des percuteurs

Type	Energie	Caractéristiques mécaniques					
		Valeurs de la		Course réelle		Effort minimal de maintien	Durée maximale de la course
		Course libre (OA) (note de bas de page a)	Course additionnelle pendant laquelle il faut fournir l'énergie (AB) (note de bas de page a)	Min. (OB) (note de bas de page a)	Max. (OC) (note de bas de page a)		
J	mm	mm	mm	mm	N	ms	
Léger	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 la [Figure 4](#).

^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. ~~Les 50 ms supplémentaires demandées pour la tenue en régime d'arc (4.15.2) sont allouées au fonctionnement de l'interrupteur. L'intervalle minimal de tenue en régime d'arc de 100 ms (4.15.3) est suffisant pour couvrir ces 50 ms plus 50 ms supplémentaires pour tenir compte de la durée de fonctionnement de l'appareil de connexion.~~

4.15 Exigences spéciales pour les fusibles Associés destinés à être utilisés dans les combinés interrupteurs-fusibles selon l'IEC 62271-105

4.15.1 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 plus petits que 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 5.1.3) pour des courants juste inférieurs au courant minimal de coupure est plus long que le temps d'ouverture de l'interrupteur associé.

4.15.2 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 fusible 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 7.6.2. En cas de série homogène, il suffit de faire l'essai sur le fusible ayant le plus grand courant assigné.

4.15.3 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 au fusible. Le constructeur de 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 donnée en 7.6.3.

5 Conception, construction et performances

5.1 Exigences générales concernant le fonctionnement des fusibles

5.1.1 Généralités

Lorsque les fusibles sont utilisés sur des réseaux dont la tension de service est inférieure à leur tension, le courant maximal de coupure en kiloampères 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 surtension 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 plus petits que ceux spécifiés dans les essais de coupure indiqués en 6.6 pour vérifier le fonctionnement du fusible en ce qui concerne son aptitude à supporter le courant de toutes les combinaisons possibles temps-courant, sans détérioration conduisant soit à un fonctionnement prématuré, soit à une défaillance (voir ~~Article 8~~ IEC TR 62655:2013).

5.1.2 Conditions normales d'utilisation

~~Les fusibles doivent être capables d'interrompre correctement chaque valeur de courant présumé, indépendamment de la composante aperiodique qu'il est possible d'obtenir, à condition que~~ Les essais spécifiés dans la présente norme sont destinés à démontrer l'aptitude à l'emploi d'un fusible dans les conditions suivantes:

- ~~– la composante périodique ne soit alternative du courant n'est pas inférieure au courant minimal de coupure assigné ni~~ supérieure au courant maximal de coupure assigné;
- ~~– la tension de rétablissement à fréquence industrielle ne soit pas plus élevée que la valeur spécifiée dans le Tableau 13 (pour conditions particulières, voir 9.3.4);~~
- la composante alternative d'un courant que le fusible est destiné à interrompre n'est pas inférieure au:
 - courant minimal de coupure assigné pour un fusible Associé;
 - courant qui provoque la fusion en 1 h pour un fusible d'Usage Général;
 - courant assigné pour un fusible à Coupure Intégrale;

- la température environnante n'est pas supérieure à la température d'application maximale (TAM) dans le cas d'un fusible à Coupure Intégrale ayant une TAM assignée (sans restriction de courant faible);
- la tension réseau la plus élevée n'est pas supérieure à la tension assignée de l'élément de remplacement, s'il est utilisé sur un réseau triphasé à neutre mis directement à la terre ou sur un réseau triphasé à neutre mis à la terre par une impédance ou par une résistance faible;
- la tension réseau la plus élevée n'est pas supérieure à 87 % de la tension assignée de l'élément de remplacement, s'il est utilisé sur un réseau triphasé à neutre isolé ou sur un réseau compensé par bobine d'extinction, du fait qu'un double défaut à la terre (l'un du côté alimentation et l'autre du côté charge d'un fusible sur une autre phase) peut se produire;

NOTE 1 Une tension réseau maximale supérieure à 87 % de la tension assignée de l'élément de remplacement est acceptable lorsque des essais supplémentaires ou d'autres essais ont été effectués sur le fusible (voir IEC/TR 62655:2013, 5.1.3.3).

- la tension réseau la plus élevée n'est pas supérieure à 87 % de la tension assignée de l'élément de remplacement, s'il est utilisé sur un réseau monophasé;

NOTE 2 Une tension réseau maximale supérieure à 87 % de la tension assignée de l'élément de remplacement est acceptable lorsque des essais supplémentaires ou d'autres essais ont été effectués sur le fusible (voir IEC/TR 62655:2013, 5.1.3.3).

- la tension transitoire de rétablissement présumée ~~soit~~ est comprise dans les limites correspondant aux essais spécifiés en 6.6.1.2;
- la fréquence ~~soit~~ est comprise entre 48 Hz et 62 Hz;
- le facteur de puissance ~~ne soit~~ n'est pas inférieur à celui ~~correspondant aux essais~~ spécifiés dans le [Tableau 13](#);
- 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 6.6.1.2.

NOTE 3 En ce qui concerne les caractéristiques de la TTR présumée, la ~~durée coordonnée temporelle~~ 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 6.6.1.2.2).

Il est considéré que les fusibles sont capables d'interrompre correctement chaque valeur de courant présumé, indépendamment de la composante continue qu'il est possible d'obtenir, à condition que les exigences précédentes aient été satisfaites.

5.1.3 Conditions normales de comportement

Conformément aux conditions d'utilisation indiquées en 5.1.2, le comportement du fusible doit être le suivant.

- a) Un élément de remplacement à remplissage pulvérulent ne doit pas émettre de flamme ni de poudre; 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 prévues pour 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 prévus avec des dispositifs indicateurs ou des percuteurs,
 - 1) les dispositifs indicateurs n'ont pas à répondre à des caractéristiques spécifiées et doivent fonctionner de façon visible et complète;
 - 2) les percuteurs doivent répondre aux caractéristiques spécifiées en 4.14 et fonctionner complètement.
- d) Le fonctionnement ne doit pas provoquer de surtensions de fonctionnement supérieures aux valeurs spécifiées en 4.9.

- e) Les valeurs des courants coupés limités correspondant à chaque valeur de courant présumé coupé ne doivent pas dépasser les valeurs correspondantes de la caractéristique d'amplitude du courant coupé limité données par le constructeur.
- f) Après fonctionnement, le fusible doit pouvoir supporter la tension de rétablissement à fréquence industrielle entre ses bornes.

5.2 Indications à porter sur les plaques signalétiques

Les indications à porter sur les plaques signalétiques des éléments de remplacement et des socles sont données ci-dessous et doivent être inscrites de façon indélébile.

NOTE Lorsque les dimensions physiques de l'élément de remplacement sont trop petites pour permettre d'inclure dans ces indications toutes celles données ci-dessous, d'autres méthodes 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 constructeur ou marque de fabrique;
 - tension assignée;
 - courant assigné.
- b) Sur l'élément de remplacement
 - nom du constructeur ou marque de fabrique;
 - désignation du type prévue par le constructeur;
 - 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 maximale d'utilisation (pour les fusibles conçus pour être utilisés dans un environnement dont la température est supérieure à 40 °C, essayés selon l'Annexe E);
 - type du percuteur (léger, moyen ou fort) s'il existe;
 - emplacement du percuteur (s'il y a lieu).

S'il y a lieu, on doit indiquer également, sur l'élément de remplacement et sur le socle, s'ils sont conçus pour une utilisation à l'extérieur ou dans l'huile, à moins que cette information ne soit incluse dans la désignation du type ou dans le code d'identification.

5.3 Dimensions

L'Annexe D contient un recueil et une classification des types et dimensions spécifiés dans les différentes normes nationales existantes.

6 Essais de type

6.1 Conditions d'exécution des essais

Les essais de type sont des essais faits pour vérifier qu'un type ou un modèle particulier de fusible est conforme aux caractéristiques spécifiées et fonctionne de façon satisfaisante dans des conditions normales de comportement ou dans des conditions spéciales spécifiées. Les essais de type sont exécutés sur des échantillons pour vérifier les caractéristiques spécifiées pour tous les fusibles du même modèle.

Ces essais ne doivent être répétés que si la construction est modifiée de telle façon qu'elle puisse modifier également le bon fonctionnement.

Les essais effectués sur des éléments de remplacement équipés de percuteurs sont valables pour des éléments de remplacement sans percuteur.

Pour des facilités d'essai, et avec l'accord préalable du constructeur, 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 effectués à des valeurs au moins aussi sévères que celles spécifiées; les limites supérieures sont soumises à l'agrément du constructeur.

Les essais spécifiés dans la présente norme sont, en principe, des essais de type, et les modalités de prélèvement pour les essais de réception ne sont pas données.

Si l'utilisateur désire effectuer des essais de réception, ces essais doivent être choisis parmi les essais de type, après accord entre constructeur et utilisateur.

Lorsque des essais sont effectués sur un fusible dont le rapport des essais de type a déjà été accepté, la responsabilité du constructeur envers l'utilisateur est limitée aux valeurs spécifiées les moins sévères 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 constructeur n'est cependant pas engagé pour des valeurs quelconques de fonctionnement au-delà de 100 % de la tension de rétablissement à fréquence industrielle spécifiée.

6.2 Liste des essais de type

Les essais de type à effectuer après la mise au point d'un modèle, ou à la suite d'une modification affectant le bon fonctionnement sont les suivants:

- essais diélectriques (socle seulement);
- essais d'échauffement et mesurage de la puissance dissipée;
- essais de coupure;
- essais de vérification de la caractéristique temps-courant;
- essais des percuteurs.

6.3 Règles d'essais communes à tous les essais de type

6.3.1 Généralités

Les résultats de tous les essais de type doivent être consignés dans des certificats d'essais de type contenant les indications nécessaires pour démontrer la conformité à cette norme.

Sauf spécification contraire, ce qui suit donne les dispositions communes à tous les essais.

6.3.2 Etat de l'appareil à l'essai

L'appareil doit être neuf, propre et en bon état. Avant d'effectuer les essais – sauf les essais diélectriques et les essais d'étanchéité à l'huile – 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 notée ainsi que la température de l'air ambiant à laquelle le mesurage a été effectué.

6.3.3 Montage des fusibles

Le fusible à l'essai doit être monté sur un châssis métallique rigide mis à la terre, dans la position d'utilisation en service normal.

Sauf spécification contraire, les connexions doivent être disposées de façon à ne pas réduire les distances d'isolement normales.

6.4 Essais diélectriques

6.4.1 Règles d'essais

Les règles d'essais diélectriques doivent être celles spécifiées en 6.3 et comme suit.

NOTE Les éléments de remplacement ne peuvent pas être essayés séparément aussi bien à l'état neuf qu'après fonctionnement.

6.4.1.1 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 constructeur.

6.4.1.2 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.

6.4.2 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 Tableaux 4 et 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.

NOTE 1 Pour les dispositions multipolaires de fusibles

- entre toutes les parties sous tension 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 sous tension des autres pôles étant reliées aux parties métalliques susceptibles d'être mises à la terre.

- b) Entre entrée et sortie: ces essais sont faits 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 imposées au fusible. Si des propriétés de sectionnement sont imposées 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.

NOTE 2 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.

6.4.3 Conditions atmosphériques pendant l'essai

L'essai doit être effectué dans des conditions atmosphériques aussi voisines que possible des conditions normales spécifiées en 11.1 de l'IEC 60060-1.

Les facteurs de correction pour la densité de l'air et l'humidité, tels qu'ils sont indiqués en 11.2.1 et 11.2.2 de l'IEC 60060-1, peuvent être utilisés pour les fusibles jusqu'à plus ample information.

6.4.4 Essais à sec aux chocs de foudre

Les fusibles doivent être soumis à des essais à sec aux chocs de foudre avec des ondes 1,2/50 conformes à la Section 6 de l'IEC 60060-1.

On doit appliquer 15 chocs consécutifs aux valeurs de tension de tenue assignée aux chocs de foudre spécifiées dans les Tableaux 4 et 5, de la façon suivante:

- à la tension de tenue assignée à la masse et entre pôles pour toutes les conditions d'essai a) prescrites en 6.4.2;
- à la tension de tenue assignée à la masse et entre pôles pour la condition d'essai b) prescrite en 6.4.2 si des propriétés de sectionnement ne sont pas assignées au socle;
- à la tension de tenue assignée sur la distance de sectionnement pour la condition d'essai b) prescrite en 6.4.2 si des propriétés de sectionnement sont assignées 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 (voir 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 donnera la plus faible tension d'amorçage, il suffit d'effectuer l'essai uniquement avec cette polarité.

6.4.5 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 permis 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 Tableaux 4 et 5. Les essais doivent être effectués aux valeurs suivantes:

- à la tension de tenue assignée à la masse et entre pôles pour toutes les conditions d'essai a) prescrites en 6.4.2;
- à la tension de tenue assignée à la masse et entre pôles pour la condition d'essai b) prescrite en 6.4.2 si des propriétés de sectionnement ne sont pas assignées au socle;
- à la tension de tenue assignée sur la distance de sectionnement pour la condition d'essai b) prescrite en 6.4.2 si des propriétés de sectionnement sont assignées au socle.

S'il se produit un contournement ou une perforation, le fusible doit être considéré comme n'ayant pas satisfait à l'essai.

6.4.6 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 6.4.5, sauf en ce qui concerne la durée de l'essai qui est de 1 min. 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 faisant un angle de 45° avec la verticale, les modalités d'essais étant conformes à celles indiquées dans l'Article 9 de l'IEC 60060-1.

6.5 Essais d'échauffement et mesurage de la puissance dissipée

6.5.1 Règles d'essais

Les essais d'échauffement et de mesurage de la puissance dissipée doivent être effectués sur un fusible conformément aux indications de 6.3 et comme décrit ci-après.

6.5.1.1 Echantillon d'essai

Le socle doit être tel que spécifié par le constructeur de l'élément de remplacement à l'essai.

L'élément de remplacement doit avoir le courant assigné maximal utilisable dans le socle.

6.5.1.2 Disposition de l'appareil

L'essai doit être fait dans une salle fermée, pratiquement exempte de courants d'air, exception faite de ceux provoqués par l'échauffement du dispositif en essai.

Le fusible dans l'air doit être monté en respectant les instructions données par le constructeur, dans la position la plus défavorable, et il doit être raccordé au circuit d'essai par des conducteurs en cuivre nu de la façon suivante: 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 12](#).

**Tableau 12 – Branchement électrique au circuit d'essai –
Dimensions des conducteurs**

Courant assigné de l'élément de remplacement (note de bas de page a) A	Section des conducteurs en cuivre nu (note de bas de page 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
<p>^a Pour les éléments de remplacement en parallèle, le courant assigné à prendre en compte est le courant total fixé par le constructeur.</p> <p>^b La section équivalente en MCM (milliers de milles circulaires) peut être obtenue en multipliant par deux les nombres figurant dans la deuxième colonne.</p>	

Les éléments de remplacement destinés à être utilisés dans l'appareillage et immergés dans l'huile doivent être essayés dans une cuve remplie d'huile, 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 à l'essai. L'élément de remplacement doit être immergé de façon que l'huile soit également répartie 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 12](#).

Il n'est pas nécessaire de respecter les distances d'isolement normales.

Les essais doivent être faits au courant assigné de l'élément de remplacement et à une fréquence comprise entre 48 Hz et 62 Hz. Chaque essai doit être fait pendant une période suffisamment longue pour que l'échauffement atteigne une valeur constante (cette condition est considérée comme pratiquement réalisée 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 dans l'Article 4.

6.5.2 Mesurage de la température

6.5.2.1 Température des éléments du fusible

La température des différentes parties pour lesquelles des limites sont spécifiées doit être déterminée par des dispositifs tels que thermocouples, thermomètres ou 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, proche du composant (soit dans le liquide qui refroidit le composant).

Pour les mesurages effectués avec des thermomètres ou des thermocouples, les précautions suivantes doivent être prises.

- a) Les réservoirs des thermomètres ou les thermocouples doivent être protégés contre le refroidissement venant de l'extérieur (laine sèche et propre, etc.). La surface protégée doit cependant être négligeable vis-à-vis de la surface de refroidissement de l'appareil à l'essai.
- b) Une bonne conductivité thermique entre le thermomètre ou le thermocouple et la surface de la partie à l'essai doit être assurée.
- c) Lorsque des thermomètres à réservoir sont employés à des endroits où existent des champs magnétiques variables, il est recommandé d'employer des thermomètres à alcool de préférence aux thermomètres à mercure, ces derniers pouvant être influencés dans ces conditions.

6.5.2.2 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, au moyen d'au moins trois thermomètres, thermocouples ou autres dispositifs capteurs de température disposés régulièrement autour du fusible à environ la hauteur moyenne des éléments traversés par le courant et à une distance d'environ 1 m du fusible. 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 n'est faite pour des températures de l'air ambiant comprise dans ces limites.

6.5.3 Mesurage de la puissance dissipée

Il peut être nécessaire de déclasser les fusibles utilisés sous enveloppes (voir ~~9.3.2 et Annexe F IEC/TR 62655:2013, 5.1.1.2 et Annexe A~~). La puissance dissipée doit être mesurée pour faciliter ce déclassement, de la façon suivante.

- a) Le mesurage de la puissance dissipée peut être fait au cours de 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. Le mesurage doit être fait lorsque la puissance dissipée (la température) a atteint une valeur stable pour la valeur de courant considérée. La puissance dissipée est exprimée en watts.

NOTE Cette exigence ne s'applique qu'aux fusibles destinés à être utilisés sous enveloppe. Pour les autres fusibles, voir 7.1 et 7.3.

- b) Les constructeurs d'appareillage et les utilisateurs qui incorporent des fusibles dans leurs appareillages peuvent tenir compte des valeurs de puissance dissipée pour déterminer les facteurs de déclassement pour les différents types de fusibles adaptés à leurs appareillages. La valeur de puissance dissipée n'est pas le seul paramètre définissant les facteurs de déclassement.

6.6 Essais de coupure

6.6.1 Règles d'essais

Les règles d'essais de coupure doivent être celles spécifiées en 6.3 et comme décrites ci-après.

6.6.1.1 Description des essais à effectuer

Les essais doivent être effectués conformément aux instructions données dans le [Tableau 13](#) 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 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 plus bas)

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 d'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.

Essais I_t : pour les éléments de remplacement présentant un ou des courants de recouvrement (voir 6.6.1.3).

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), il faut ajouter aux suites d'essais 1, 2 et 3 ci-dessus 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 dispositif 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 pour évaluer le respect de cette exigence sont traités à l'Annexe G.

Des exigences supplémentaires relatives aux essais de coupure pour les éléments fusibles conçus pour être utilisés dans un environnement où la température est supérieure à 40°C sont traitées à l'Annexe E.

Les valeurs I_1 , I_2 , I_3 et I_t sont les valeurs efficaces de la composante c.a. du courant.

Si lors de l'exécution des essais de la suite d'essais 2, toutes les conditions requises pour la suite d'essais 1 sont complètement remplies 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 à l'intensité de coupure maximale I_1 . Les séries d'essais 1 et 2 doivent alors être remplacés par six essais à l'intensité maximale de coupure avec des angles d'enclenchement répartis le plus équitablement possible avec environ 30 degrés électriques entre chacun. (Les paramètres utilisés seront ceux de la suite d'essai 2 (voir [Tableau 13](#)) à l'exception de l'angle d'enclenchement 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 possible, l'essai spécifié avec un début d'arc compris entre 40° et 65° après le zéro de tension est remplacé 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 fusibles de tous les calibres de courants d'une série homogène; voir 6.6.4 pour les exigences à satisfaire et les essais à réaliser.

Une série homogène peut également être approuvée sans essai de coupure par interpolation entre les résultats des essais des séries homogènes apparentées d'éléments fusibles de tensions assignées supérieures et inférieures; voir 6.6.5 pour les exigences à satisfaire.

NOTE A titre indicatif, la valeur du courant I_2 satisfaisant à cette spécification peut être déterminée par l'une ou l'autre des méthodes suivantes.

- a) A partir de l'équation suivante, si un essai avec un courant au moins égal à 150 fois le courant assigné a été fait au cours de la suite d'essais 1 avec un début de court-circuit en régime symétrique:

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

où

I_2 est le courant présumé de la suite d'essais 2;

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) En prenant trois à quatre fois le courant auquel correspond un temps de préarc d'une demi-période sur la caractéristique temps-courant (voir 6.7 et 4.11). S'il existe une caractéristique temps-courant pour des temps virtuels inférieurs à une demi-période, il est préférable d'utiliser le courant correspondant sur cette caractéristique temps-courant à un temps de 0,08 demi-période normale.

Tableau 13 – Essais de coupure – Paramètres

Paramètres	Suite d'essais		
	1 (note de bas de page a)	2	3
Tension de rétablissement à fréquence industrielle	(0,87 x tension assignée)	$+5_0$ %	Tension assignée $+5_0$ %
Caractéristiques de la TTR présumée	Voir 6.6.1.2		Pas de valeur spécifiée
Facteur de puissance	De 0,07 à 0,15 (note de bas de page b)		0,4 à 0,6
Courant présumé (valeur efficace de la composante périodique)	I_1 $+5_0$ %	I_2	I_3 -10_0 % (note de bas de page c)
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	Quelconque
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 (note de bas de page d)	
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 seront pratiquement remplies au moins une fois en effectuant les essais indiqués.

b) Lorsque le constructeur est d'accord, la limite la plus basse ne s'applique pas.

c) Lorsque l'installation de la station d'essais ne permet 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.

d) Pour un élément fusible 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'essai 2: pour les types: Associé, d'Usage Général et à Coupure Intégrale
Suite d'essai 3: pour les types: d'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 interrupteur-fusible (déclenchement par le perceur).

6.6.1.2 Caractéristiques du circuit d'essai

6.6.1.2.1 Généralités

Les essais de coupure doivent être faits 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 indiqué aux Figures 7 et 8. On ne doit pas utiliser de réactances susceptibles d'être saturées.

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. Lorsqu'une distorsion est inévitable, elle ne doit pas être assez importante pour nécessiter une tension aux bornes du circuit ouvert supérieure à 107 % de la tension correspondant à la tension de rétablissement requise pour les suites d'essais 1 et 2 spécifiées en 6.6.1.1.

Un système de mesure ayant une réponse en fréquence adéquate doit être prévu pour mesurer la surtension de fonctionnement 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 surtensions de fonctionnement utilisée dans le circuit d'essai doit être réalisée de telle façon qu'aucun amorçage 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.

L'onde de la tension transitoire de rétablissement présumée du circuit d'essai doit être conforme aux deux exigences suivantes:

Exigence a): son enveloppe ne doit jamais être située en dessous du tracé de référence spécifié.

NOTE Il est précisé que l'accord du constructeur est nécessaire pour fixer de combien l'enveloppe peut dépasser le tracé de référence spécifié (voir le quatrième alinéa de 6.1).

Exigence b): sa partie initiale ne doit pas traverser le segment de droite spécifié définissant le retard (éventuellement).

La Figure 5 illustre ces exigences.

Les valeurs normales des tracés de référence et des segments de droite spécifiées définissant le retard pour les diverses suites d'essais sont celles qui suivent.

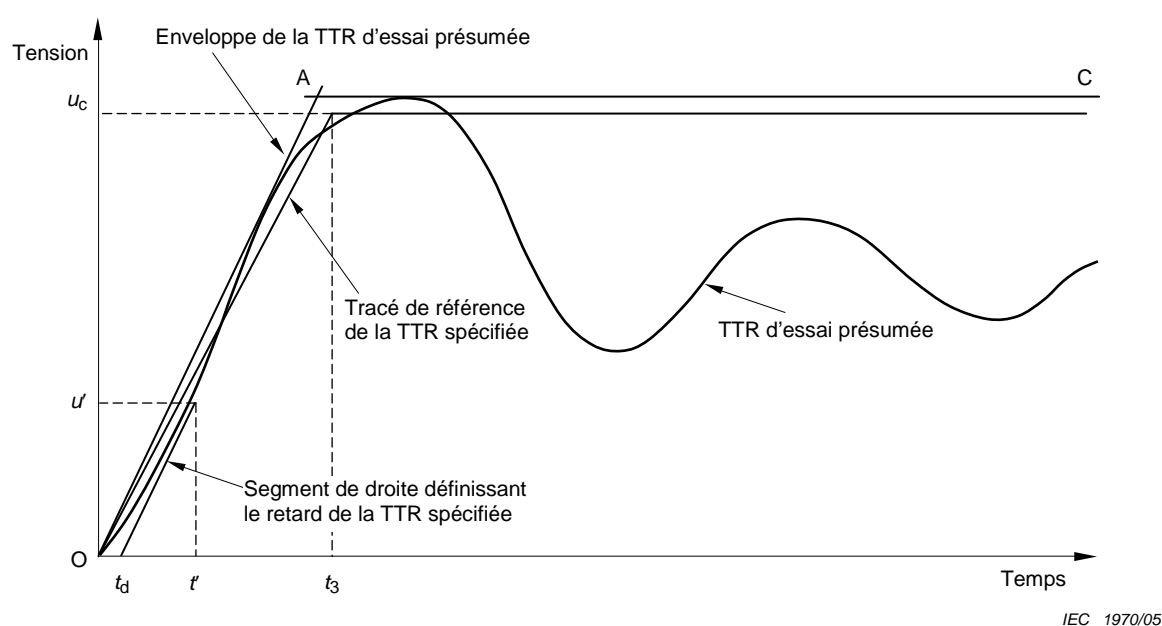


Figure 5 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à deux paramètres et répondant aux conditions imposées pour l'essai de type

6.6.1.2.2 TTR pour suite d'essais 1

En principe, les essais sont effectués avec les valeurs normales de la TTR spécifiées en 4.10. Cependant, comme indiqué dans l'Annexe B, les fusibles limiteurs de courant ne sont pas sensibles aux caractéristiques de la TTR sauf lorsqu'on atteint une tension d'arc très élevée immédiatement après le début de l'arc. En conséquence, et pour des facilités d'essai, on peut effectuer les essais comme décrit ci-après.

Un premier essai sera effectué 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 sera 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 en 4.10 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 faits sur ce nouveau circuit.

6.6.1.2.3 TTR pour suite d'essais 2

Les essais doivent être effectués avec les valeurs de TTR présumée spécifiées dans les Tableaux 14 et 15 (voir Annexe B).

L'onde de la TTR présumée du circuit d'essai doit être conforme aux spécifications 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 1 Le segment de droite définissant le retard n'est pas spécifié étant donné que la partie initiale de la TTR est sans importance pour le comportement de fusible (voir Annexe B).

NOTE 2 Il peut être difficile d'obtenir les coordonnées de temps spécifiées, particulièrement pour les fusibles dont le courant d'essai I_2 est petit. 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 – Série I

Tension assignée	Paramètres de base		Vitesse d'accroissement
	Valeur de crête de la tension	Temps	
U_r	u_c (note de bas de page a)	t_3	u_c/t_3
kV	kV	µs	kV/µs
3,6	6,6	120 – 160	0,055 – 0,041
7,2	13,2	156 – 208	0,084 – 0,063
12	22	180 – 240	0,122 – 0,091
17,5	32	216 – 288	0,148 – 0,111
24	44	264 – 352	0,167 – 0,125
36	66	324 – 432	0,203 – 0,152
40,5	74	345 – 460	0,214 – 0,160
52	96	396 – 528	0,242 – 0,181
72,5	133	504 – 672	0,265 – 0,199

^a $u_c = 1,5 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

Tableau 15 – TTR pour la suite d'essais 2 – Série II

Tension assignée	Paramètres de base		Vitesse d'accroissement
	Valeur de crête de la tension	Temps	
U_r	u_c (note de bas de page a)	t_3	u_c/t_3
kV	kV	µs	kV/µs
2,75	5	111 – 148	0,045 – 0,033
5,5	10	138 – 184	0,072 – 0,054
8,25	15,4	162 – 216	0,095 – 0,071
15	27,5	198 – 264	0,138 – 0,104
15,5	28,4	201 – 268	0,141 – 0,106
25,8	47	273 – 364	0,172 – 0,129
38	69,5	333 – 444	0,208 – 0,156
48,3	89	381 – 508	0,233 – 0,175
72,5	133	504 – 672	0,265 – 0,199

^a $u_c = 1,5 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

6.6.1.2.4 TTR pour 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.

6.6.1.3 Essai I_t (pour les fusibles 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

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

quand I_t est la valeur du courant de recouvrement donnée par le constructeur du fusible.

S'il est connu que ces valeurs ne représentent pas le cas le plus défavorable pour ce type de construction de fusible, le constructeur peut fournir d'autres valeurs pour I_{t1} et I_{t2} .

Les paramètres à utiliser pour effectuer 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 au [Tableau 13](#) 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 fréquence de rétablissement 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 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 fusible, de manière à représenter les valeurs types constatées dans les circuits pour lesquels l'élément fusible est approprié, sur la base des courants d'essais nécessaires. Des instructions concernant les valeurs appropriées de la TTR peuvent être obtenues à partir des normes d'essai applicables à d'autres dispositifs de coupure conçus pour être utilisés dans des circonstances similaires.

Les essais doivent être réalisés 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 doivent être fournies par le fabricant. Les critères types utilisés pour évaluer le respect de cette exigence sont traités à l'Annexe G.

6.6.1.4 Echantillons

L'élément de remplacement doit être essayé sur un socle tel que spécifié par le constructeur de l'élément de remplacement.

6.6.1.5 Disposition de l'appareil

6.6.1.5.1 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 indiquée 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 efforts mécaniques excessifs 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 pliages 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 essayé en position verticale sauf s'il est reconnu que la position horizontale est la plus sévère, auquel cas le fusible doit être essayé horizontalement.

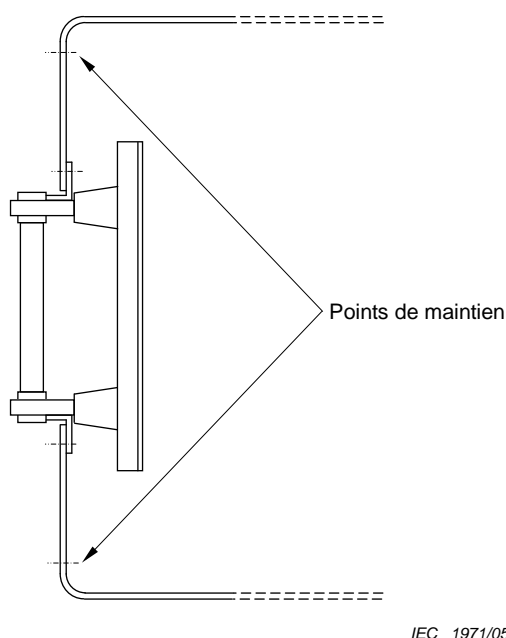


Figure 6 – Essais de coupure – Disposition de l'appareil

6.6.1.5.2 Fusibles destinés à être utilisés dans l'appareillage à huile

Les suites d'essais 1, 2, 3, et I_t peuvent être effectuées dans l'air ou dans une cuve remplie d'huile. Etant donné que les essais dans l'air sont plus contraignants que dans l'huile, les essais dans l'air ne peuvent être substitués aux essais dans l'huile que suite à l'accord du constructeur de fusible. Dans le cas d'une non-coupure, ces essais peuvent être répétés avec les fusibles installés dans une cuve remplie d'huile en utilisant une disposition de conducteurs appropriée dans cette cuve. La cuve remplie d'huile 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.

6.6.2 Modalités d'essai

6.6.2.1 Etalonnage du circuit d'essai

Le fusible ou l'élément de remplacement à l'essai doit être remplacé par une barrette d'impédance négligeable comme indiqué dans les Figures 7 et 8.

Le circuit doit être ajusté pour donner le courant présumé spécifié. Cela doit être vérifié par un enregistrement oscillographique ou similaire.

NOTE 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.

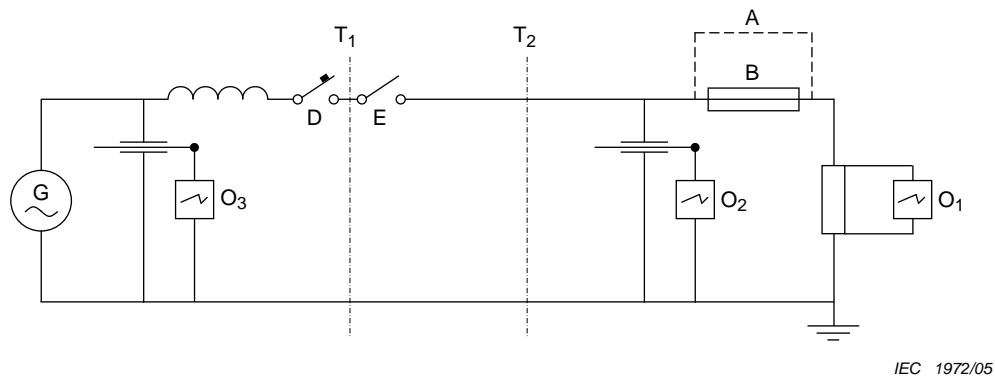
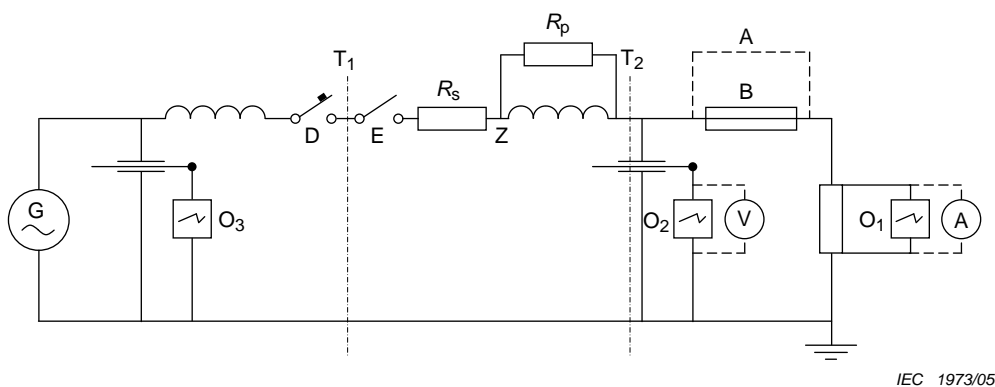


Figure 7 – Essais de coupure – Schéma type pour les suites d'essais 1 et 2



Légende pour les Figures 7 et 8

A	Connexion amovible utilisée pour l'étalonnage	O ₃	Mesurage de la tension de référence
B	Fusible à l'essai	T ₁ – T ₂	Emplacements possibles du transformateur
D	Disjoncteur protégeant la source	Z	Impédance réglable
E	Court-circuit	R _P	Résistance parallèle réglable
O ₁	Mesurage du courant	R _S	Résistance série réglable
O ₂	Mesurage de la tension de rétablissement		

Figure 8 – Essais de coupure – Schéma type pour la suite d'essais 3

6.6.2.2 Méthode d'essai

La barrette A est enlevée et remplacée par le fusible ou l'élément de remplacement B à l'essai.

Le court-circuiteur E est fermé à un instant tel que les conditions spécifiées dans le [Tableau 13](#) soient remplies.

Pour les suites d'essais 1, 2, 3 et I_t les surtensions de fonctionnement doivent être mesurées. Pour les suites d'essais 1 et 2, les courants coupés limités doivent être déterminés.

Au cours des essais de la suite d'essais 3, le courant peut être mesuré au moyen d'un ampèremètre à la place ou en plus d'un enregistrement oscillographique, ou par un système de mesure similaire.

Après le fonctionnement du fusible, la tension de rétablissement doit être maintenue à ses bornes pendant les durées spécifiées dans le [Tableau 13](#). Les quelques premières périodes

doivent être enregistrées par un oscillographe ou un système similaire tandis que les suivantes peuvent être lues sur un voltmètre.

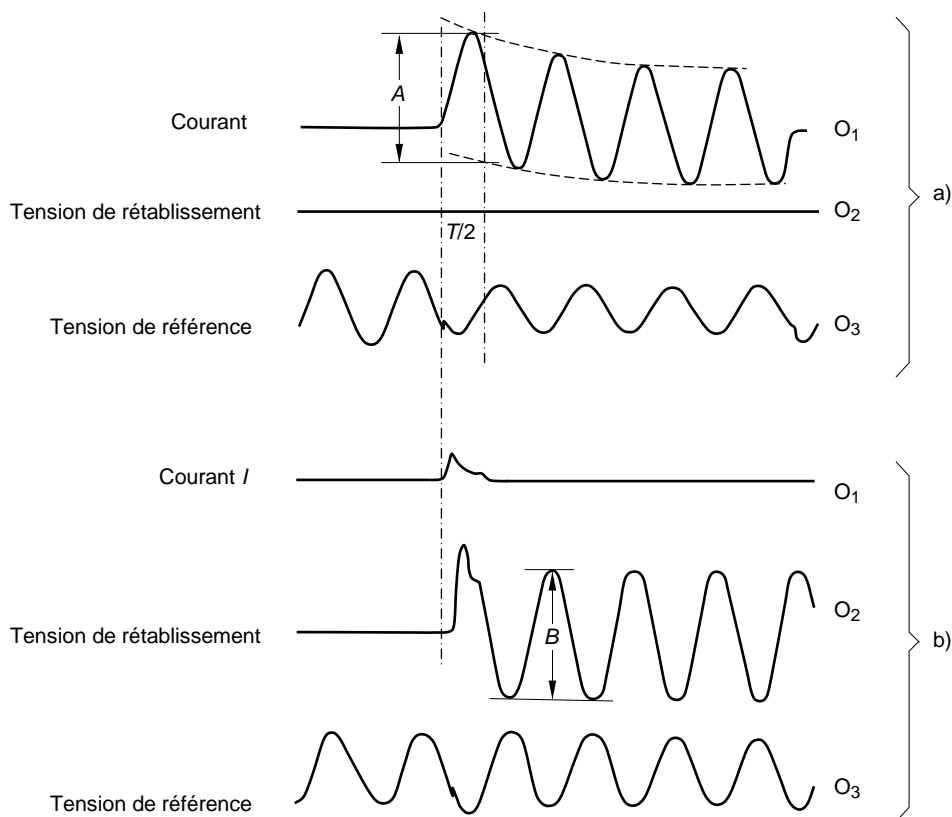
Au cours de cette période, la fréquence industrielle peut tomber au-dessous de la valeur minimale spécifiée.

6.6.2.3 Interprétation des oscillogrammes

Pour les suites d'essais 1 et 2, le courant présumé coupé 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 Figures 9 et 10).

Pour la suite d'essais 3 et les essais avec I_t , le courant coupé doit être la valeur efficace de la composante périodique du courant, 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 Figures 9, 10 et 11).



IEC 1974/05

Légende

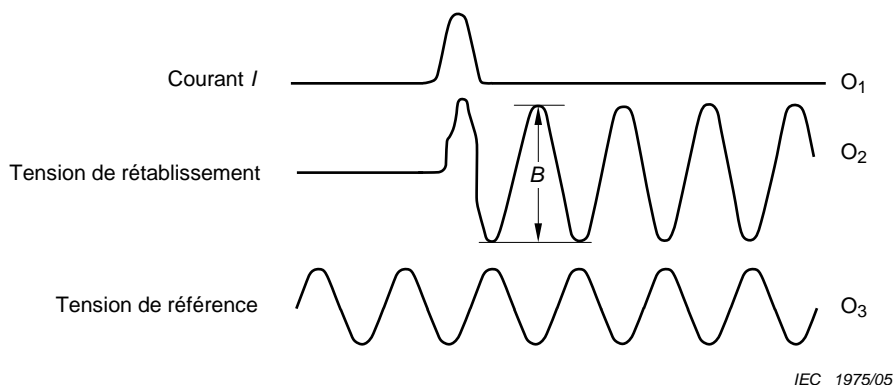
- O₁ Mesure du courant
- O₂ Mesure de la tension de rétablissement
- O₃ Mesure de la tension de référence
- a) Etalonnage
- b) Essai de coupure

Valeur efficace de la composante périodique du courant présumé coupé $I = \frac{A}{2\sqrt{2}}$

Tension de rétablissement $U = \frac{B}{2\sqrt{2}}$

NOTE Les Figures 9, 10 et 11 sont des illustrations; les courants ne sont pas représentés avec la même échelle.

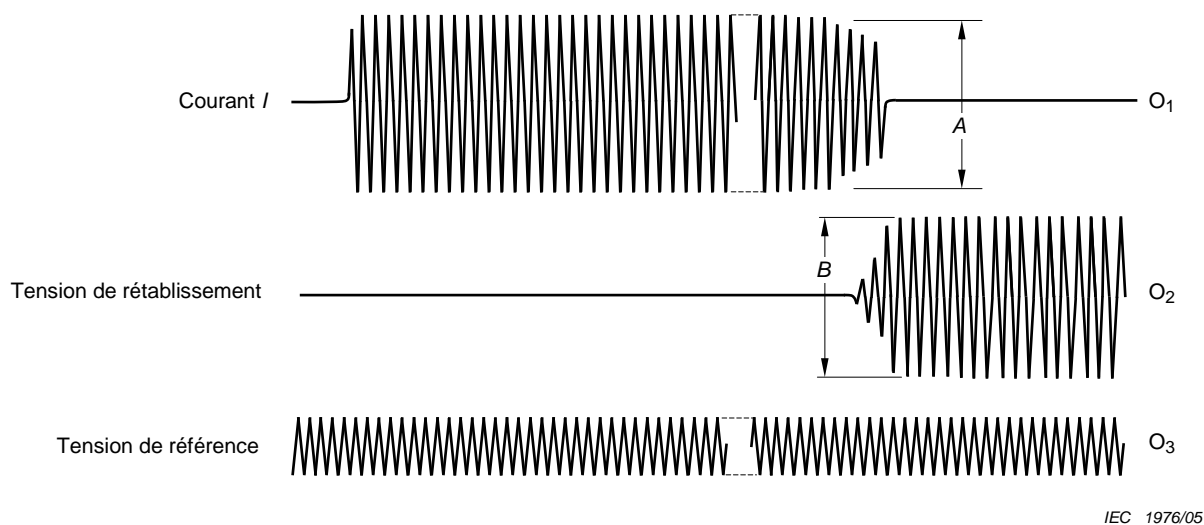
Figure 9 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes pour la suite d'essais 1



Légende

- O₁ Mesurage du courant
- O₂ Mesurage de la tension de rétablissement
- O₃ Mesurage 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 Mesurage du courant
- O₂ Mesurage de la tension de rétablissement
- O₃ Mesurage de la tension de référence

Figure 11 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes de la suite d’essais 3

6.6.2.4 Paramètres à utiliser au cours des essais

Les paramètres à utiliser au cours des essais sont donnés dans le [Tableau 13](#).

Si un essai est effectué dans des conditions plus sévères que celles spécifiées et s'il est satisfaisant, cet essai doit être valable.

6.6.3 Variantes de la méthode d'essais pour la suite d'essais 3

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 fusion 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 requis se fasse avant l'apparition de l'arc.

6.6.3.1 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 désiré 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 décrit en 6.6.1.2.

La valeur du courant de la source à haute tension est le courant I_3 tel que défini en 6.6.1.1.

- c) Un dispositif manuel ou automatique permettant de commuter au moment désiré 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, le passage d'une source à l'autre doit se produire 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 constructeur, 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.

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 6.6.3.2).

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.

6.6.3.2 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 un temps minimal de fusion de 1 h est requis, 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 la valeur de I_3 doit être 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 par 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'un temps de fusion d'au moins 1 h soit respecté.

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.

6.6.4 Essais de coupure pour les éléments de remplacement d'une série homogène

6.6.4.1 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 monotone¹ 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 le ou les éléments fusibles et l'enveloppe doit être une fonction monotone² 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.

6.6.4.2 Conditions 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: une 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

Suite d'essais	Éléments de remplacement à essayer (les croix indiquent les essais à effectuer)		
	A	B	C
1	X		X
2 (note de bas de tableau a)	X (note de bas de tableau c)		X
3 (note de bas de tableau b)	X (note de bas de tableau d)	X (note de bas de tableau d)	X
<p>a Les courants d'essai I_2 des éléments de remplacement A et C seront choisis en fonction des courants assignés respectifs de ces éléments de remplacement.</p> <p>b Il est recommandé que l'élément de remplacement du plus petit courant assigné comprenne au moins deux éléments fusibles individuels principaux en plus de l'élément éventuel utilisé pour le fonctionnement du perceur.</p> <p>c Cet essai n'est exigé que si la section des éléments fusibles individuels est inférieure à celle des éléments de remplacement C.</p> <p>d Cet essai n'est exigé que si le rapport I_3/s de l'un quelconque 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.</p>			

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.

6.6.4.3 Interprétation des essais de coupure

Si les essais effectués selon le [Tableau 16](#) donnent les résultats conformes aux exigences de 5.1.3, 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 5.1.3 au cours d'une ou de plusieurs séries d'essais, cet élément 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 constructeur doit fournir des valeurs de courant minimal de coupure pour les éléments de remplacement 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 du courant minimal de coupure pour les autres courants assignés dans la même série homogène peuvent être déterminés par le calcul selon la règle que la densité de courant par élément fusible principal (rapport I_3/s) aux valeurs assignées du courant minimal de coupure doit être égale ou supérieure à celle de l'élément de remplacement C.

6.6.5 Qualification par interpolation d'une série homogène d'éléments de remplacement

Si deux séries homogènes X et Z de tensions assignées différentes U_X et U_Z ont été essayées avec succès, une troisième série Y de tension assignée intermédiaire U_Y n'a pas, en principe, à être essayée 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 essayés.
- 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 censée 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 censée 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 essayés, par interpolation linéaire en fonction de la tension assignée déjà essayée.

6.6.6 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 essayée, on estime qu'il n'est pas nécessaire d'essayer les versions d'enveloppes plus longues à condition que les exigences ci-dessous soient satisfaites.

Les caractéristiques de coupure déclarées et les caractéristiques assignées fondées sur des essais effectués sur une série homogène selon 6.6.2. et 6.6.4 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 essayée ne dépasse pas 1,6 fois la longueur de la gamme essayée 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 essayé de la série.
- b) La gamme non essayée est conforme en tous points à 6.6.4.1 sauf la longueur de l'enveloppe.
- c) Le courant assigné maximal de gamme non essayée n'excède pas celui de la gamme essayée et le plus petit courant assigné de la gamme non essayée n'est pas inférieur à celui de la gamme essayée.

6.7 Essais de vérification de la caractéristique temps-courant

6.7.1 Règles d'essais

Les règles d'essais doivent être celles spécifiées en 6.3 ainsi que celles citées ci-après.

6.7.1.1 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.

6.7.1.2 Disposition de l'appareil

Les essais doivent être faits avec la même disposition de l'appareil que pour les essais d'échauffement (voir 6.5.1.2), s'ils sont effectués séparément ou avec la disposition utilisée pour les essais de coupure (voir 6.6.1.5).

6.7.2 Méthode d'essai

Les essais de vérification de la caractéristique temps-courant doivent être effectués comme suit.

6.7.2.1 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 maintenu à une valeur sensiblement constante.

Les caractéristiques temps-courant obtenues lors des essais de coupure peuvent être utilisées.

6.7.2.2 Gamme de temps

Les essais doivent être faits dans les gammes de temps suivantes:

- fusibles Associés: de 0,01 s à 600 s;
- fusibles d'Usage Général et fusibles à Coupure Intégrale: de 0,01 s à 1 h. Pour les fusibles à Coupure Intégrale, il convient que la gamme de temps s'étende de préférence au-delà de 1 h.

6.7.2.3 Mesurage 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.

6.7.2.4 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.

6.8 Essais des percuteurs

6.8.1 Généralités

Ces essais sont destinés à vérifier que le percuteur est capable de fournir l'énergie spécifiée dans le [Tableau 11](#) même dans les conditions de service qui impliquent de faibles valeurs de courant ou de tension. Les essais de 6.8.3 sont également destinés à prouver que l'intervention du percuteur est suffisamment rapide pour assurer le fonctionnement correct des combinés interrupteurs-fusibles déclenchés par percuteur.

L'énergie d'un percuteur déclenché par un ressort peut être soit vérifiée pendant les essais de fonctionnement au moyen d'un pendule soit mesurée après les essais à partir de la caractéristique effort-course (voir 6.8.4.1). L'énergie d'un percuteur déclenché par une charge explosive doit être mesurée au cours des essais de fonctionnement au moyen d'un pendule.

L'effort de maintien des percuteurs des types moyen et fort (voir [Tableau 11](#)) doit être vérifié après les essais de fonctionnement.

6.8.2 Percuteurs à essayer

Les éléments de remplacement utilisés pour les essais de percuteur doivent avoir le courant assigné le plus grand et/ou la puissance dissipée la plus élevée dans la gamme de fusibles utilisant un type donné de système de percussion.

Lorsqu'un système de percussion (comprenant un percuteur et un fil résistant en série) est commun à une ou à plusieurs gammes données d'éléments de remplacement², il suffit de faire les essais sur un élément de remplacement de tension assignée quelconque pour s'assurer du fonctionnement des percuteurs dans toute la ou les gammes. Les résultats sont valables pour les éléments de remplacement d'autres tensions assignées lorsque le même système de percussion est utilisé pourvu que les longueurs du fil résistant soient sensiblement proportionnelles aux tensions assignées des éléments de remplacement.

6.8.3 Essais de fonctionnement

Les éléments de remplacement utilisés pour les essais de percuteurs doivent tout d'abord être placés dans un circuit à basse tension et on leur applique un courant tel que les éléments fusibles principaux fondent. La tension doit être suffisamment basse pour ne pas détériorer les circuits du percuteur des éléments de remplacement. La valeur du courant d'essai doit être telle qu'elle donne une durée de préarc qui ne soit pas inférieure à 20 min.

NOTE La partie préparatoire des essais de fonctionnement spécifiés peut ne pas convenir pour les percuteurs équipés d'un relais thermique complémentaire. Un déclenchement thermique prématuré du percuteur peut empêcher la poursuite normale de l'essai tel qu'il est spécifié. Des spécifications d'essai appropriées pour couvrir ce cas ne sont pas encore spécifiées.

Les essais a) et b) doivent ensuite être exécutés sans retard intentionnel sur ces éléments de remplacement dont les éléments fusibles principaux sont fondus:

Essai a): Courant d'essai: ≤ 10 A
Tension d'essai: non spécifiée

Essai b): Tension d'essai: $\leq 0,075 U_r$
Courant d'essai: non spécifié

où U_r est la tension assignée des éléments de remplacement.

Le facteur de puissance du circuit d'essai peut avoir toute valeur convenable.

Trois échantillons doivent être essayés selon l'essai a) et trois selon l'essai b).

Lorsqu'il est possible de combiner les essais a) et b), trois échantillons seulement au total ont besoin d'être essayés.

6.8.4 Résultats à obtenir au cours des essais

6.8.4.1 Généralités

Pour les essais a) et b), la course de percuteur, la quantité d'énergie délivrée au cours de la course réelle et l'effort de maintien doivent se situer dans les limites spécifiées au [Tableau 11](#).

Pour l'essai b), la durée de la course mesurée ne doit pas dépasser la valeur spécifiée dans le [Tableau 11](#).

² Le percuteur, le matériau et la section du fil résistant sont identiques dans tous les cas, seule la longueur du fil résistant peut varier.

6.8.4.2 Essai relatif à l'énergie

Lorsque l'énergie est mesurée à partir de la caractéristique effort-course, ce mesurage doit être effectué après les essais de fonctionnement comme suit: les efforts du ressort F_A et F_B correspondant respectivement au début et à la fin de la course additionnelle AB indiquée dans la Figure 4 doivent être mesurés sur un échantillon et l'énergie calculée à partir de la formule:

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

où F_A et F_B sont exprimés en newtons et AB en millimètres.

Lorsque l'énergie est mesurée au moyen d'un pendule, ce mesurage doit être effectué au cours de l'essai de fonctionnement a) comme suit.

Il est recommandé d'utiliser un pendule tel que celui décrit dans l'ISO 148-2, mais avec les plus faibles valeurs d'énergie et de vitesse de choc spécifiées dans l'ISO 179. En particulier, il convient d'utiliser les machines du type 4 J pour essayer les perceurs moyens et forts, et les machines du type 0,5 J pour essayer les perceurs légers.

Le marteau de la machine d'essai est muni d'une plaque plane en acier de dureté minimale Vickers HV 235 et de dimension suffisante, perpendiculaire à la trajectoire du perceur.

Après sa course libre spécifiée, le perceur doit frapper le marteau au repos sur sa surface plane. La trajectoire du perceur doit passer par le centre de percussion de la machine et doit être perpendiculaire à un plan défini par ce centre de percussion et par l'axe d'oscillation du pendule.

6.8.4.3 Essai relatif à l'effort de maintien

Pour les perceurs des types moyen et fort, l'effort de maintien doit être vérifié sur trois échantillons après avoir effectué les essais de fonctionnement a) et b). Cet essai consiste à appliquer un effort statique égal à l'effort minimal de maintien assigné dans l'axe du perceur et à vérifier que la course résiduelle de celui-ci n'est pas inférieure à la course réelle maximale spécifiée OB (voir Figure 4).

6.9 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Les fusibles tombant dans le domaine d'application de cette norme 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 surtension de fonctionnement obtenues aux essais de type ne dépassent pas celles indiquées dans les Tableaux 7 et 8 de cette norme.

7 Essais spéciaux

7.1 Généralités

Les essais spéciaux sont effectués pour vérifier qu'un type ou un modèle particulier de fusible est conforme aux caractéristiques spécifiées et se comporte de façon satisfaisante dans des conditions spéciales spécifiées. Ils sont exécutés sur des échantillons pour vérifier les caractéristiques spécifiées pour tous les fusibles du même modèle.

Ces essais ne doivent être répétés que si la construction est modifiée de façon qu'elle puisse modifier également le bon comportement.

Pour des facilités d'essai, et avec l'accord préalable du constructeur, les valeurs prescrites pour les essais, notamment les tolérances, peuvent être modifiées dans le sens qui accroît la sévérité des essais.

Sauf spécification contraire, les essais doivent être effectués suivant les règles spécifiées en 6.3 et comme suit.

7.2 Liste des essais spéciaux

Les essais suivants sont des essais à effectuer après accord entre constructeur et utilisateur pour certains types de fusibles ou pour certaines utilisations spéciales:

- essai de résistance aux variations brusques de température (pour les fusibles prévus pour être utilisés à l'extérieur);
- essai de puissance dissipée, pour les fusibles dont l'utilisation sous enveloppes n'est pas prévue (les autres fusibles doivent faire cet essai en tant qu'essai de type);
- essai d'étanchéité (pénétration d'humidité) pour les fusibles destinés à être utilisés à l'extérieur;
- essai d'échauffement en condition de préarc pour les fusibles Associés destinés aux combinés interrupteurs-fusibles;
- essai de tenue du fusible en condition d'arc pour les fusibles Associés destinés aux combinés interrupteurs-fusibles;
- essai d'étanchéité à l'huile.

Les résultats de tous ces essais doivent être consignés dans des certificats d'essai contenant les indications nécessaires pour démontrer la conformité à cette norme.

7.3 Essais de chocs thermiques

7.3.1 Echantillons d'essais

Le socle doit être tel que spécifié par le constructeur de l'élément de remplacement à l'essai.

NOTE Si des éléments de remplacement de divers courants assignés ne diffèrent que par leurs éléments fusibles, il suffit d'essayer l'élément de remplacement ayant la puissance dissipée la plus élevée.

7.3.2 Mise en place de l'équipement

Le fusible doit être monté suivant les instructions données par le constructeur et raccordé au circuit d'essai par des conducteurs en cuivre nu ayant les dimensions spécifiées au [Tableau 12](#).

7.3.3 Méthode d'essai

Le fusible est parcouru pendant 1 h par un courant de valeur déterminée par accord entre le constructeur et l'utilisateur, inférieur ou égal au courant assigné. Le fusible est alors soumis à une pluie artificielle faisant un angle d'environ 45 degrés avec la verticale, à une température ne dépassant pas celle de la pièce et ayant un débit d'environ 3 mm/min. Cette aspersion doit durer 1 min tandis que le courant d'essai est maintenu.

Le fusible ne doit présenter aucun signe visible extérieur de détérioration.

7.4 Essais de puissance dissipée pour les fusibles dont l'utilisation sous enveloppes n'est pas prévue

Ces essais doivent être effectués dans les conditions spécifiées en 6.5.

7.5 Essai d'étanchéité (pénétration d'humidité)

7.5.1 Conditions d'essai

La vérification de l'étanchéité (pénétration d'humidité) est effectuée en immergeant l'échantillon dans un bain d'eau comportant un produit mouillant. Le volume d'eau doit être au moins égal à 10 fois le volume de l'échantillon.

7.5.2 Echantillon d'essai

L'échantillon d'essai est un élément de remplacement représentatif de son type. Trois éléments de remplacement doivent être essayés.

7.5.3 Méthode d'essai

Chaque échantillon (à la température de la pièce entre 15 °C et 35 °C) doit être immergé pendant 5^{+0}_{-1} min dans le bain à température comprise entre 70 °C et 80 °C.

Aucune bulle ne doit s'échapper de la surface de l'échantillon après disparition des bulles provoquées par l'immersion initiale.

7.6 Essai pour les fusibles Associés destinés aux combinés interrupteurs-fusibles selon l'IEC 62271-105

7.6.1 Généralités

Des essais adaptés sont requis pour que le constructeur de fusible puisse donner les informations nécessaires au fabricant d'appareillage ou à l'utilisateur final.

7.6.2 Essai d'échauffement en condition de préarc

Le but est de déterminer la température maximale qui peut être atteinte en tout point du fusible et pour toute valeur de courant de préarc.

Pour chaque série homogène, le fusible ayant le plus grand courant assigné doit être testé.

Les fusibles sont disposés comme pour l'essai d'échauffement de 6.5 sauf qu'il suffit de placer un capteur de mesure en contact avec le corps du fusible au milieu de sa longueur.

Le fusible est soumis à un essai de préchauffage avec un courant donnant un temps de fusion de 20 min, ce qui correspond aux conditions où le corps atteint généralement la température la plus haute. En pratique, un essai donnant un temps de fusion de 15 min à 25 min est acceptable. La température la plus haute atteinte est enregistrée. Cela intervient normalement juste après la fusion du fusible.

Dans le cas de fusibles équipés de percuteurs thermiques, le courant d'essai doit être interrompu dès que le percuteur a fonctionné, et la température la plus élevée doit être enregistrée.

Pendant cette séquence d'essais, le fusible doit rester physiquement intact et sans dommages comme décrit en 5.1.3.

7.6.3 Temps d'arc admissible

Il convient que le temps d'arc admissible soit au minimum de 0,1 s.

Quand une telle valeur est obtenue pendant la suite d'essais 3 de 6.6, cette valeur de la suite d'essais 3 peut être considérée comme preuve d'atteinte de la performance.

Quand la valeur de durée d'arc de la suite d'essais 3 est inférieure à 0,1 s, alors deux essais supplémentaires doivent être effectués conformément à 6.6 pour la suite d'essais 3 mais sans exigence de TTR et avec

- un courant d'essai donnant un temps d'arc d'au moins 0,1 s;
- une valeur de courant supérieure à 70 % du courant minimal de coupure tel que défini en 3.1.20.

Quand il peut être démontré que le percuteur thermique fonctionne pour les courants inférieurs à I_3 avant l'apparition de l'arc, alors l'essai de temps d'arc n'est pas requis.

7.7 Essais d'étanchéité ~~à l'huile au liquide isolant~~

7.7.1 Généralités

~~Les éléments fusibles des fusibles limiteurs de courant conçus pour être utilisés immergés dans l'huile doivent être testés comme suit.~~

Deux séquences d'essai sont spécifiées pour démontrer la capacité d'étanchéité aux liquides des fusibles dédiés aux applications qui utilisent des fusibles destinés à être immergés dans un liquide isolant. La première méthode (7.7.2) est destinée aux applications dans lesquelles la source de chaleur principale dans une enveloppe est le fusible lui-même (par exemple, appareillage). La seconde méthode (7.7.3) est destinée aux applications dans lesquelles d'autres matériels (par exemple, enroulements de transformateur) produisent la plus grande partie de la chaleur dans l'enveloppe. Les exigences d'essai sont basées sur des méthodes d'essai historiques qui se sont révélées adaptées en service.

L'huile minérale est utilisée habituellement pour ces essais, mais il est admis que d'autres liquides isolants, par exemple, fluide de silicone, et des esters naturels et synthétiques, peuvent être utilisés dans ces applications. L'expérience a montré que si les essais sont effectués avec une huile isolante classique, les résultats sont généralement valables pour tous les liquides isolants inertes par rapport au système d'étanchéité des fusibles. Le constructeur doit spécifier quels sont les liquides appropriés pour l'essai et le rapport d'essai doit indiquer le liquide utilisé pour les essais.

Si plusieurs calibres ~~de courant~~ qui diffèrent uniquement en raison de leurs éléments fusibles sont à évaluer, il suffit de ~~tester~~ soumettre à essai l'élément ~~fusible~~ de remplacement dont la dissipation d'énergie est la plus élevée.

Pour les essais qui spécifient un courant, une tolérance de –5 % à +0 % est à appliquer.

NOTE L'attention est attirée à la mise en œuvre des précautions appropriées lorsque l'on utilise des liquides à une température proche de leur température d'inflammation.

7.7.2 Essais d'étanchéité aux liquides pour les applications de type appareillage

Les éléments de remplacement des fusibles limiteurs de courant conçus pour être utilisés immergés dans un liquide isolant, et où la source de chaleur principale est le fusible lui-même, doivent être soumis à l'essai comme suit.

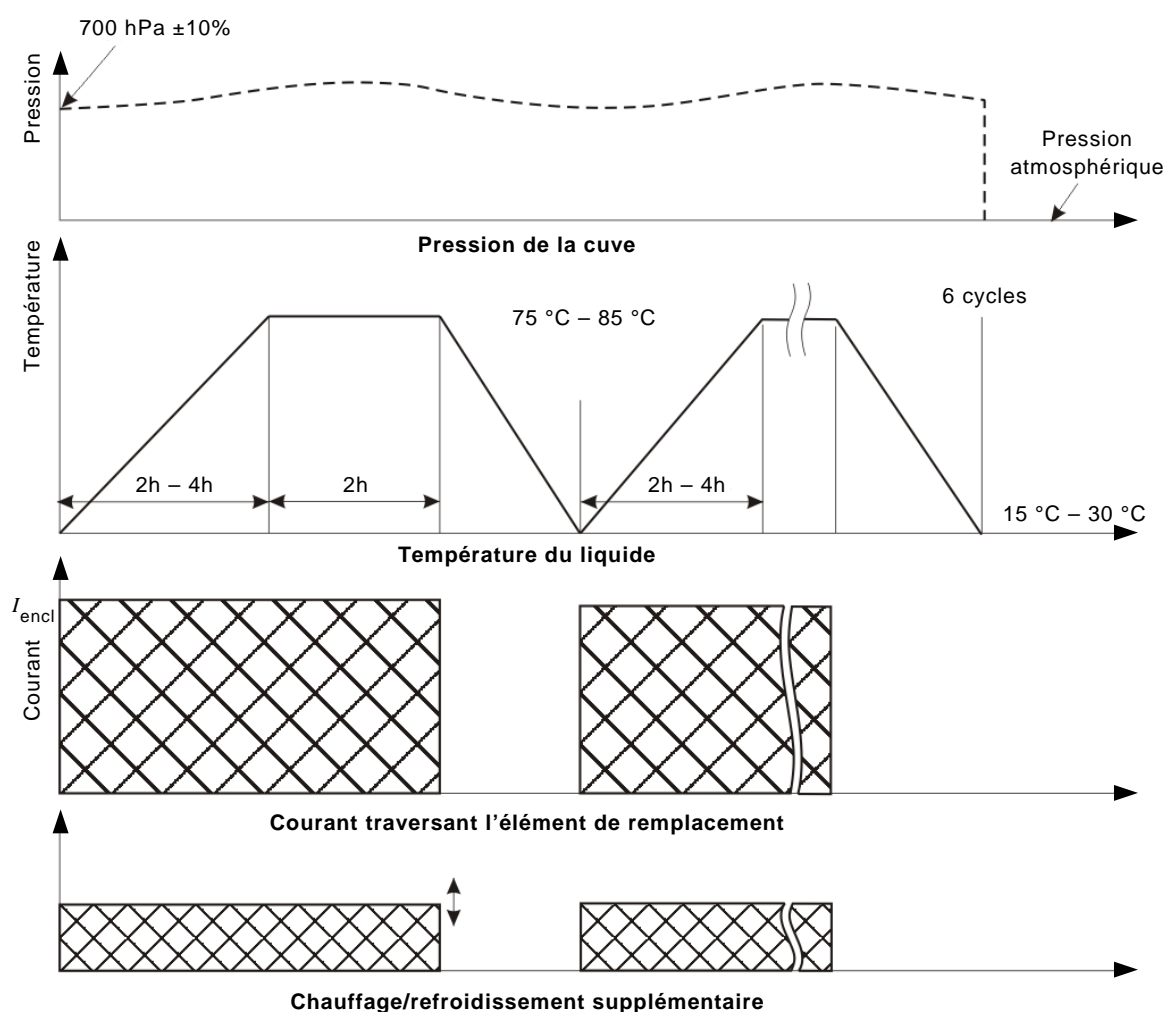
L'élément ~~fusible~~ de remplacement doit être immergé dans ~~de l'huile~~ un liquide isolant à une pression de ~~$7 \times 10^4 \text{ N/m}^2$~~ 700 hPa $\pm 10\%$ (au-dessus de la pression atmosphérique). ~~Le courant assigné de l'élément fusible doit passer pendant 2 h, et la température de l'huile doit augmenter (en utilisant une source de chauffage supplémentaire si nécessaire) pour atteindre une valeur comprise entre 75 °C et 85 °C et être maintenue dans cette plage pendant une période d'essai de 2 h.~~

Un courant égal au courant permanent maximal admissible de l'élément de remplacement I_{encl} à une température de 80 °C (voir IEC/TR 62655:2013, Annexe A) doit le traverser, et le liquide doit être porté à une température comprise entre 75 °C et 85 °C. Ceci doit être réalisé dans un délai de 2 h à 4 h. La température doit être maintenue dans cette plage pendant une période d'essai supplémentaire de 2 h, avec le courant traversant le fusible. Un chauffage et/ou refroidissement supplémentaire du liquide et/ou de son contenant sont normalement nécessaires pour atteindre et/ou maintenir la température de liquide exigée.

Si une température d'application maximum (TAM) supérieure à 85 °C est ~~affectée~~ assignée à un élément ~~fusible testé~~ de remplacement soumis à essai conformément à l'Annexe E, la température ~~de l'huile~~ du liquide isolant doit ~~augmenter~~ alors être augmentée jusqu'à une température au moins équivalente à la TAM ~~affectée au fusible~~ assignée à l'élément de remplacement. Le courant traversant l'élément ~~fusible~~ de remplacement doit être équivalent au courant ~~maximum~~ permanent maximal autorisé I_{encl} ~~en régime permanent~~ pour cette température (voir ~~Annexe F~~ IEC/TR 62655:2013, Annexe A).

Le courant doit être coupé, la source de chauffage supplémentaire ~~éventuelle~~ interrompue et ~~l'huile le liquide~~ refroidie ou laissée à refroidir, à une température de 15 °C à 30 °C pendant une quelconque période adéquate.

Ce cycle doit être effectué six fois et la pression de la cuve doit alors être relâchée. L'élément ~~fusible~~ de remplacement doit ensuite être retiré ~~de l'huile~~ du liquide, nettoyé extérieurement et ouvert à des fins de contrôle de la matière utilisée pour l'extinction de l'arc qui ne doit présenter aucun signe de pénétration ~~d'huile~~ de liquide. Voir la Figure 12 pour une représentation de la séquence d'essai.



IEC 1934/14

Figure 12 – Séquence d'essai pour les applications de type appareillage

7.7.3 Essais d'étanchéité aux liquides pour les applications de type transformateur

7.7.3.1 Généralités

Si un élément de remplacement est destiné à une application dans une cuve de transformateur de distribution remplie d'isolant liquide, une température d'essai de 115 °C ou de 140 °C doit être assignée (115 °C pour la pratique européenne et 140 °C pour la pratique nord-américaine). Il n'est pas nécessaire de soumettre à l'essai décrit en 7.7.2 un fusible soumis à essai selon 7.7.3 pour démontrer l'étanchéité aux liquides. Pour les applications à température élevée, où la source de chaleur n'est pas un enroulement de transformateur, il convient de choisir la température la plus appropriée (115 °C ou 140 °C).

Au cours des essais de cycle détaillés en 7.7.3, il convient que la vitesse de variation de la température de l'élément de remplacement ne soit pas supérieure à 0,5 °C/min et il convient de prendre des mesures pour éviter tout choc thermique.

Le constructeur doit fournir des informations concernant la température assignée (115 °C ou 140 °C).

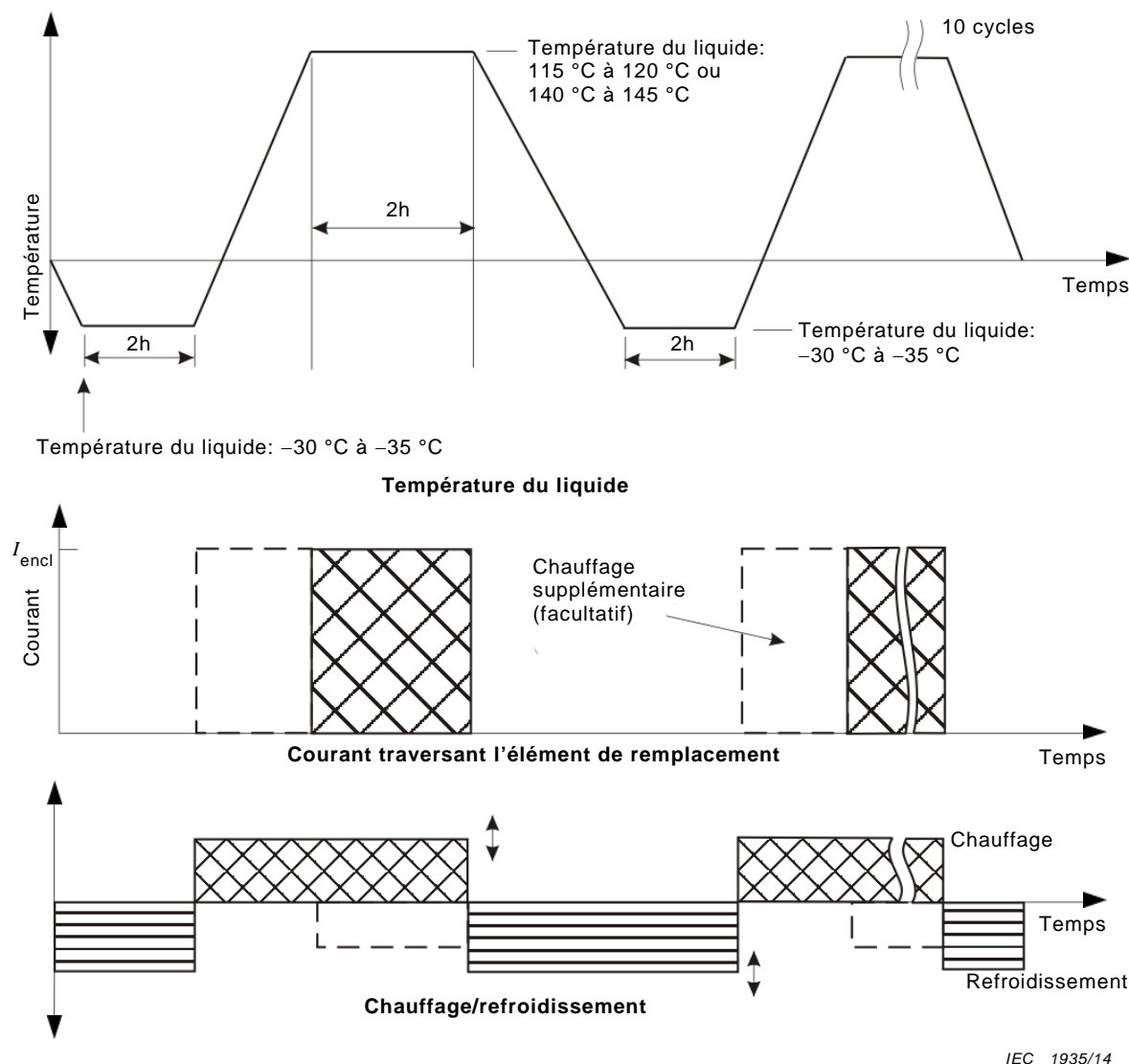
7.7.3.2 Essai de cycle thermique dans un liquide

L'élément de remplacement doit être immergé dans un liquide isolant et la température du liquide doit être réduite à -30 °C (+0 °C, -5 °C). Un cycle complet consiste à porter la

température du liquide à 115 °C (+5 °C, –0 °C) ou à 140 °C (+5 °C, –0 °C), puis à la ramener à –30 °C. Lorsque la température du liquide atteint 115 °C ou 140 °C, un courant égal au courant permanent maximal autorisé de l'élément de remplacement I_{encl} pour une température de 115 °C ou 140 °C (voir IEC/TR 62655:2013, Annexe A) doit traverser le fusible pendant 2 h. Pendant cette période de 2 h, la température du liquide doit être maintenue à 115 °C /140 °C (+5 °C, –0 °C). La durée comprise entre un extrême de température et l'autre doit correspondre à toute valeur appropriée telle que limitée par la vitesse de variation de la température spécifiée en 7.7.3.1. Le cycle peut être interrompu pendant toute période appropriée lorsque la température du liquide est de 20 °C (+10 °C, –10 °C). Une période de maintien à –30 °C (+0 °C, –5 °C) pendant au moins deux heures doit être prévue. Le courant qui traverse le fusible peut être utilisé comme source de chaleur supplémentaire pendant la partie " chauffage " du cycle.

Voir la Figure 13 pour une représentation de la séquence d'essai.

Ce cycle doit être effectué dix fois avec cinq éléments de remplacement du modèle à évaluer. Les éléments de remplacement doivent être retirés du liquide isolant, nettoyés extérieurement et ouverts à des fins de contrôle de la matière utilisée pour l'extinction de l'arc, qui ne doit présenter aucun signe de pénétration de liquide. Il convient de noter que plusieurs éléments de remplacement peuvent être soumis à l'essai simultanément dans la même cuve remplie de liquide et, pour le dernier cycle, il est nécessaire de réduire la température de l'élément de remplacement uniquement à la température ambiante.



IEC 1935/14

Figure 13 – Séquence d'essai pour l'essai combiné pour les applications de type transformateur

7.7.3.3 Essais de substitution

Si la pratique ne permet pas d'effectuer les essais aisément comme cela est spécifié en 7.7.3.2, ceux-ci peuvent être divisés en deux parties, la série d'essais a) étant effectuée avant la série d'essais b) comme suit:

a) Essai dans l'air

L'élément de remplacement étant placé dans l'air, sa température est réduite à -30 °C ($+0\text{ °C}$, -5 °C). Un cycle complet consiste à porter la température de l'élément de remplacement à 115 °C ($+5\text{ °C}$, -0 °C) ou à 140 °C ($+5\text{ °C}$, -0 °C), puis à la ramener à -30 °C ($+0\text{ °C}$, -5 °C). La durée applicable à chaque cycle thermique comprise entre un extrême de température et l'autre doit correspondre à toute valeur appropriée telle que limitée par la vitesse de variation de la température spécifiée en 7.7.3.1, avec une période de maintien à chaque extrême de température d'au moins deux heures. Le cycle peut être interrompu pendant toute période appropriée lorsque la température de l'élément de remplacement est de 20 °C ($+10\text{ °C}$, -10 °C). Le courant qui traverse le ou les fusibles peut être utilisé comme source de chaleur supplémentaire pendant le cycle de chauffage. Voir la Figure 14 pour une représentation de la séquence d'essai.

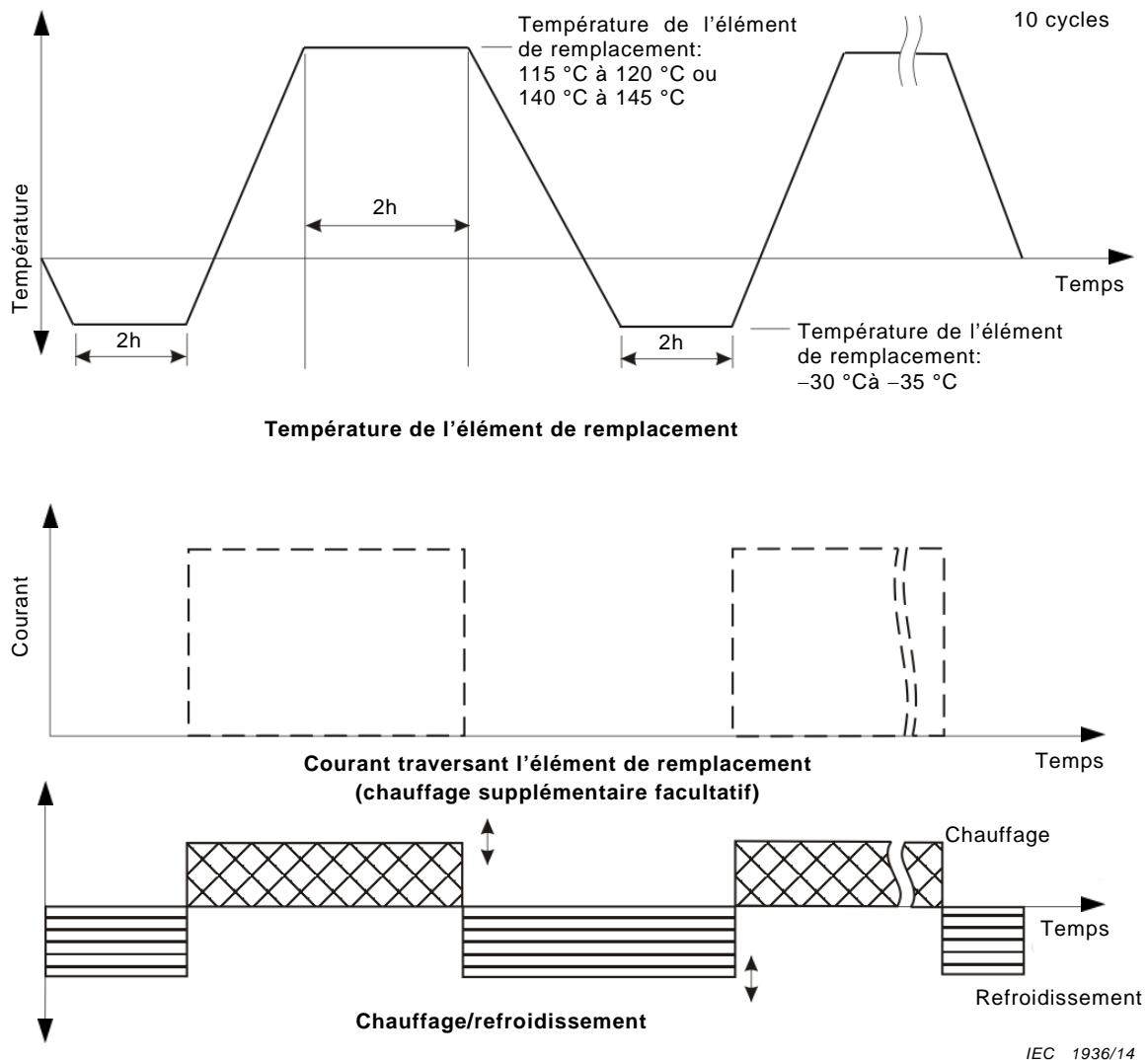


Figure 14 – Séquence d'essai pour la série a) essai pour les applications de type transformateur

b) Essais dans un liquide isolant

Chaque élément de remplacement de la série d'essais a) doit être immergé dans un liquide isolant. Un cycle complet consiste à porter la température du liquide à 115 °C (+5 °C, -0 °C) ou à 140 °C (+5 °C, -0 °C), puis à la ramener à une température comprise entre 15 °C et 30 °C. Lorsque la température du liquide isolant atteint la température d'essai, un courant égal au courant permanent maximal autorisé de l'élément de remplacement I_{encl} pour une température de 115 °C ou 140 °C (voir IEC/TR 62655:2013, Annexe A) doit traverser le fusible pendant 2 h. Pendant cette période de 2 h, la température du liquide doit être maintenue à 115 °C /140 °C (+5 °C, -0 °C). La durée comprise entre un extrême de température et l'autre peut correspondre à toute valeur appropriée. Le cycle peut être interrompu pendant toute période appropriée lorsque la température du liquide est comprise entre 15 °C et 30 °C. Le courant qui traverse le ou les fusibles peut être utilisé comme source de chaleur supplémentaire pendant la partie "chauffage" du cycle. Voir la Figure 15 pour une représentation de la séquence d'essai.

Les deux séries d'essais doivent comprendre dix cycles avec cinq éléments de remplacement du modèle à évaluer. Il convient de noter que plusieurs éléments de remplacement peuvent être soumis à essai dans la même série d'essais simultanément, et pour le dernier cycle de la série a), il est nécessaire de réduire la température de l'élément de remplacement uniquement à la température ambiante.

Les éléments de remplacement doivent être retirés du liquide, nettoyés extérieurement et ouverts à des fins de contrôle de la matière utilisée pour l'extinction de l'arc, qui ne doit présenter aucun signe de pénétration de liquide isolant.

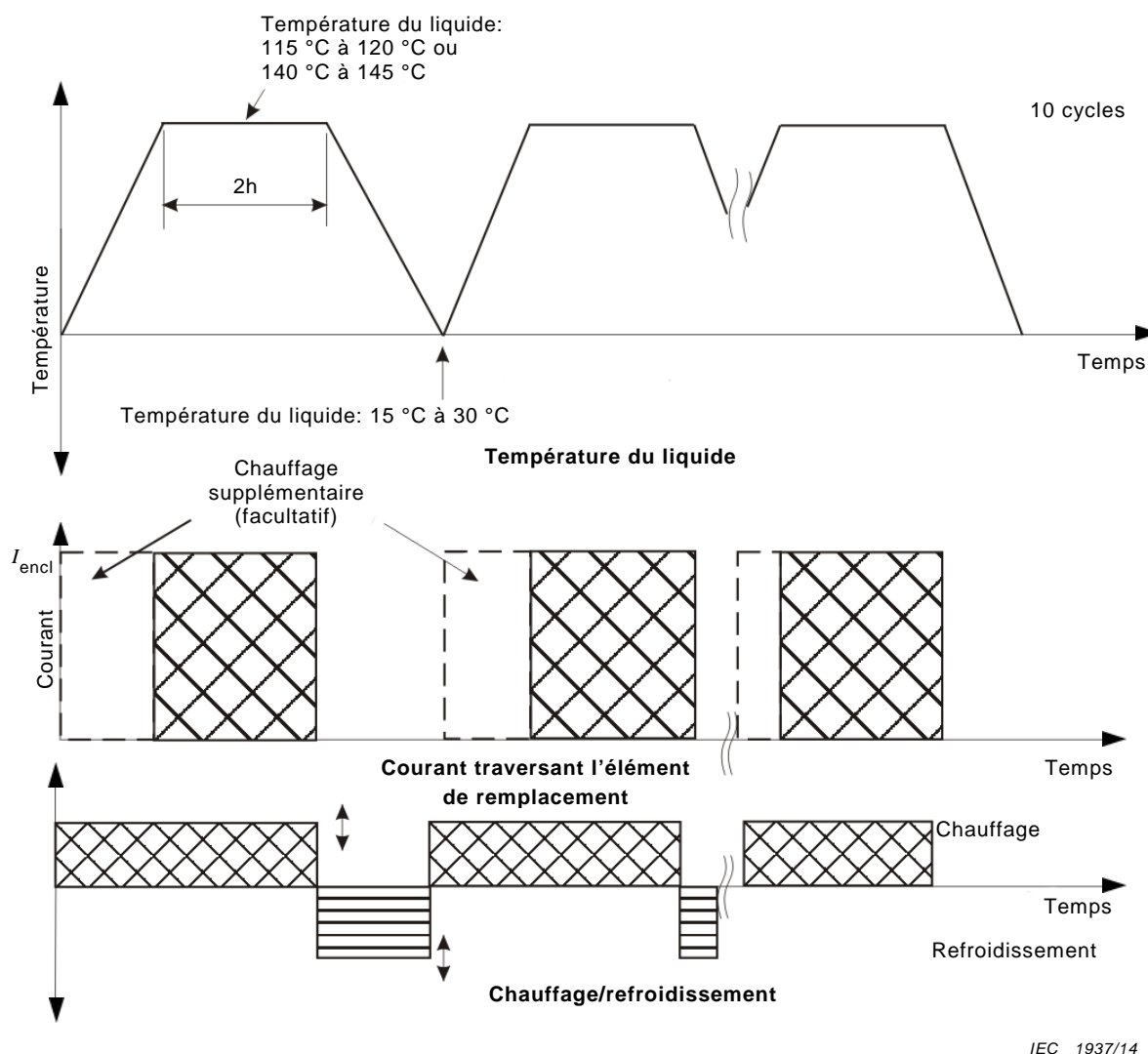


Figure 15 – Séquence d'essai pour la série b) essai pour les applications de type transformateur

8 Essais individuels de série

Les dispositions concernant les valeurs de résistance à froid ou d'autres données appropriées des essais individuels de série sur les éléments fusibles doivent être convenues entre le fabricant du fusible et l'utilisateur.

9 Guide d'application

9.1—Objet

~~L'objet de cet article est de présenter des suggestions concernant l'utilisation, le fonctionnement et la maintenance afin d'obtenir des résultats satisfaisants avec les fusibles à haute tension limiteurs de courant. Le constructeur doit faire référence à cet article dans sa documentation.~~

9.2 — Généralités

~~Un fusible inséré dans un circuit électrique est destiné à protéger en permanence ce circuit et les installations qui lui sont reliées, dans les limites de ses caractéristiques. La façon dont le fusible fonctionnera dépend non seulement de la précision avec laquelle il a été construit mais également de son utilisation correcte et du soin apporté à sa maintenance. S'il n'est pas utilisé et entretenu correctement, des dégâts considérables à des équipements coûteux peuvent se produire.~~

~~Il convient de manipuler les éléments de remplacement à haute tension avec au moins les mêmes précautions qu'un autre accessoire de précision (tel qu'un relais). Les éléments de remplacement sont stockés dans leur emballage d'origine jusqu'à utilisation. Il convient de vérifier avant utilisation tout élément de remplacement ayant subi une chute ou ayant été soumis d'autre manière à un choc mécanique important. La vérification comprend un examen concernant les détériorations de l'enveloppe et des parties métalliques de l'élément de remplacement ainsi qu'un mesurage de résistance. La valeur nominale de la résistance peut généralement être obtenue du constructeur de fusible.~~

~~Si dans les conditions normales d'installation et de service, l'élément de remplacement est soumis à des contraintes mécaniques sévères, par exemple chocs, vibrations, etc., agissant suivant une ou plusieurs directions, il convient de vérifier que l'élément de remplacement peut supporter ces contraintes sans dommage ni détérioration. Des essais pratiques destinés à vérifier la tenue mécanique des éléments de remplacement peuvent être effectués par accord entre l'utilisateur et le constructeur de fusibles et d'appareillage. Pour les combinés interrupteurs-fusibles, voir IEC 62271-105.~~

~~On ne saurait trop souligner qu'il convient de se conformer aux règles de sécurité prescrites chaque fois que l'on déplace ou que l'on entretient des fusibles au voisinage d'appareils ou de conducteurs sous tension.~~

9.3 — Utilisation

9.3.1 — Montage

~~Il convient d'installer le fusible en respectant les instructions du constructeur. Pour les dispositions multipolaires de fusibles, lorsque la distance entre pôles n'est pas fixée par construction, les pôles sont montés à des distances au moins égales à celles spécifiées par le constructeur.~~

~~Il convient de noter que, lorsque les éléments fusibles sont soumis aux effets d'un rayonnement solaire intense, ou sont utilisés dans une enveloppe qui soumet l'élément fusible à une température environnante supérieure à 40 °C, certains aspects du fonctionnement de ces éléments fusibles peuvent en être significativement affectés. En fonction de la conception du fusible, les caractéristiques affectées peuvent comprendre le courant assigné, les courbes temps-courant et leur capacité de coupure. Certains types de fusibles doivent être conçus spécifiquement et testés pour de telles applications (par exemple certains fusibles dits «organiques»). Les conséquences sur le courant assigné du fusible sont traitées en 9.3.2 et à l'Annexe F. Les changements des caractéristiques temps-courant sont également traités en 9.3.2. Les exigences d'essais supplémentaires concernant certains éléments fusibles conçus pour être utilisés dans un environnement dont la température est supérieure à 40 °C sont traitées dans l'Annexe E.~~

9.3.2 — Choix du courant assigné de l'élément de remplacement

~~Le courant assigné d'un élément de remplacement est généralement supérieur au courant normal de service. Les indications pour le choix du fusible sont généralement fournies par le constructeur.~~

~~Si le courant assigné de l'élément de remplacement est inférieur à celui du socle, le courant assigné réel du fusible est celui de l'élément de remplacement.~~

~~Il convient de choisir le courant assigné de l'élément de remplacement en tenant compte de ce qui suit:~~

- ~~a) courant normal et surcharge possible du circuit, y compris les harmoniques engendrés;~~
- ~~b) phénomènes transitoires dans le circuit, liés à la mise en ou hors circuit d'appareil tel que transformateurs, moteurs ou batteries de condensateurs;~~
- ~~c) coordination éventuelle avec d'autres dispositifs de protection.~~

~~Pour déterminer le courant assigné d'un élément de remplacement, le constructeur se base sur de nombreux facteurs.~~

~~L'un de ces facteurs est l'échauffement des contacts de l'élément de remplacement déterminé lors de l'essai d'échauffement selon 6.5 en effectuant un essai monophasé à l'air libre ou dans l'huile.~~

~~Les conditions de raccordement, d'orientation, de température ambiante et de montage sont spécifiées. Quelle que soit la température ambiante pendant l'essai (qui peut avoir n'importe quelle valeur entre +10 °C et +40 °C), les résultats de l'essai d'échauffement sont supposés valables jusqu'à une température ambiante de 40 °C en service.~~

~~La mise sous enveloppe de l'élément de remplacement et la proximité des deux autres éléments de remplacement d'un ensemble triphasé ont un effet néfaste sur la température de fonctionnement.~~

~~En plus du souci de conformité aux limites d'échauffement, le constructeur peut avoir déterminé le courant assigné à partir de critères fondés sur le besoin de s'assurer une marge de sécurité suffisante contre la détérioration des éléments fusibles. On ne peut donc pas supposer qu'un élément de remplacement donnera satisfaction en service sur le seul critère que les échauffements maximaux du Tableau 6 de la présente norme n'ont pas été dépassés. Cela s'applique en particulier au cas des faibles courants assignés, mais peut aussi s'appliquer au courant assigné maximal d'une série homogène.~~

~~Le courant assigné d'un élément de remplacement choisi pour une application donnée est souvent déterminé par des facteurs autres que le courant permanent en service (voir IEC 60787). Cependant, si le courant permanent en service est le facteur déterminant, il faut faire attention à l'influence des conditions suivantes (surtout si les fusibles sont utilisés dans une enveloppe, voir Annexe F):~~

- ~~a) température du milieu environnant l'élément de remplacement;~~
- ~~b) type et taille des raccordements;~~
- ~~c) orientation des éléments de remplacement;~~
- ~~d) enveloppe contenant l'élément de remplacement;~~
- ~~e) effet du rayonnement solaire;~~
- ~~f) effet du refroidissement forcé.~~

~~Un mauvais choix du courant assigné de l'élément de remplacement peut produire~~

- ~~1) la détérioration des éléments fusibles;~~
- ~~2) la détérioration des contacts;~~
- ~~3) la détérioration de l'enveloppe.~~

~~De plus, par comparaison avec les informations fournies par le constructeur, certaines conditions d'utilisation peuvent décaler les caractéristiques temps-courant vers la gauche pour la branche des temps longs (voir Figure 1 de l'IEC 60787) et les courants minimaux de fusion peuvent prendre des valeurs plus basses. Il faut cependant remarquer que les valeurs du courant minimal de coupure sont habituellement inchangées. Il est à noter que pour les fusibles d'Usage Général la valeur de courant utilisée pour la série d'essai 3 peut provoquer la~~

~~fusion du fusible en moins d'1 h. A la demande de l'utilisateur, des informations sur la relation temps-courant peuvent être fournies pour faire face à cette situation.~~

~~Du fait que l'élément de remplacement et son enveloppe constituent un système interactif et que chaque constituant peut être fourni par un constructeur différent, il est essentiel de disposer d'assez d'informations pour permettre une application rigoureuse.~~

~~La convenance d'un élément de remplacement pour une application spécifique sous enveloppe est de la responsabilité du fournisseur du fusible sous enveloppe ou puits (FEP) et il est recommandé à l'utilisateur de suivre les instructions du constructeur du FEP, faute de quoi on considère qu'il garde la responsabilité du choix.~~

9.3.3 — Choix selon la classe (voir 3.3.2) et le courant minimal de coupure

9.3.3.1 — Généralités

~~Il convient de choisir des éléments de remplacement dont la valeur du courant minimal de coupure corresponde à l'application particulière considérée. Il convient de souligner que l'utilisation d'un élément de remplacement ayant une valeur trop élevée de courant minimal de coupure peut conduire dans certaines circonstances à une destruction de l'élément de remplacement suivie de détériorations.~~

9.3.3.2 — Eléments de remplacement utilisés dans des combinés interrupteurs-fusibles conformes à l'IEC 62271-105

~~Il suffit que le courant minimal de coupure soit assez faible pour assurer une coordination correcte avec l'interrupteur du combiné (voir IEC 62271-105). Des fusibles Associés sont généralement utilisés pour cette application.~~

9.3.3.3 — Eléments de remplacement utilisés comme seule protection de circuits de distribution ou comprenant des transformateurs (voir IEC 60787)

- ~~a) Pour les applications dans lesquelles on peut montrer par le calcul ou par expérience en service que de faibles valeurs de courant de défaut sont improbables, des fusibles Associés appropriés peuvent être utilisés. Dans ce cas, il faut s'assurer que le courant minimal de coupure assigné de l'élément de remplacement est inférieur au plus petit courant de court-circuit susceptible d'apparaître en amont du dispositif de protection à basse tension. Des valeurs typiques de courant minimal de coupure assigné pour des fusibles utilisés dans de telles conditions sont en principe comprises entre quatre et huit fois le courant assigné du transformateur.~~
- ~~b) Les applications pour lesquelles l'expérience ou le calcul indique qu'il peut y avoir de très faibles surintensités sur le réseau (c'est-à-dire inférieure à environ quatre fois le courant désigné du fusible), des fusibles à Usage Général ou à Coupure Intégrale doivent être utilisés. Les fusibles à Coupure Intégrale sont particulièrement recommandés pour les applications où les surintensités de courant peuvent être aussi faibles que le courant minimal de fusion du fusible et lorsque le fusible doit être déclassé pour être utilisé dans une enveloppe.~~

9.3.3.4 — Eléments de remplacement utilisés pour la protection contre les courts-circuits conjointement avec des éléments de remplacement à expulsion

~~Il suffit que le courant minimal de coupure soit inférieur au courant de recouvrement des éléments de remplacement montés en série. Les valeurs de courant minimal de coupure assigné varient largement selon la conception de cet ensemble. Des fusibles Associés sont normalement utilisés pour cette application.~~

9.3.3.5 — ~~Éléments de remplacement utilisés pour la protection des circuits comprenant des moteurs (voir IEC 60644)~~

~~En principe, il suffit que le courant minimal de coupure soit assez faible pour assurer une coordination correcte avec le relais à maximum de courant de l'appareil de connexion. Généralement, des fusibles Associés sont utilisés pour cette application; lorsqu'une sécurité supplémentaire est exigée, il convient que le courant minimal de coupure de l'élément de remplacement soit au moins aussi faible que le courant rotor bloqué du moteur protégé.~~

9.3.3.6 — ~~Éléments de remplacement utilisés pour la protection des condensateurs (voir IEC 60549)~~

~~Dans le cas où les éléments de remplacement sont utilisés pour protéger des condensateurs unitaires, des valeurs de courant minimal de coupure très faibles peuvent être souhaitables pour tenir compte des faibles accroissements de courant qui se produisent lorsqu'il y a claquage d'un ou de plusieurs éléments de condensateur montés en série. Dans le cas où des éléments de remplacement ne sont utilisés que pour la protection de ligne (lorsque les unités individuelles sont protégées séparément par d'autres moyens), des éléments de remplacement ayant une valeur de courant minimal de coupure plus élevée peuvent alors être utilisés.~~

9.3.4 — ~~Choix de la tension assignée de l'élément de remplacement~~

~~Il convient de choisir la tension assignée de l'élément de remplacement en fonction de ce qui suit.~~

- ~~— S'il est utilisé sur un réseau triphasé à neutre mis directement à la terre ou sur un réseau triphasé à neutre mis à la terre par une impédance ou par une résistance, il convient que la tension assignée de l'élément de remplacement soit, en principe, au moins égale à la tension entre phases la plus élevée.~~
- ~~— S'il est utilisé sur un réseau monophasé, il convient que la tension assignée de l'élément de remplacement soit au moins égale à 115 % de la tension monophasée la plus élevée du circuit.~~
- ~~— S'il est utilisé sur un réseau triphasé à neutre isolé ou sur un réseau compensé par bobine d'extinction, il convient d'envisager, en principe, 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. Si la tension la plus élevée entre phases de ce réseau est supérieure à 0,87 fois la tension assignée du fusible, des essais à un niveau au moins égal à cette tension supérieure sont nécessaires pour les fusibles utilisés.~~

~~Il convient également d'examiner la coupure possible de courants capacitifs dans le cas d'un défaut monophasé à la terre. Si dans un tel réseau on utilise des éléments de remplacement sans ouverture de l'interrupteur associé par percuteur, des essais peuvent être effectués par accord entre constructeur et utilisateur, conformément aux conditions d'essai appropriées de l'IEC 60265-1. Il convient de choisir les courants d'essai d'un commun accord en fonction de l'élément de remplacement à essayer et des valeurs des courants dans les phases saines et dans la phase en défaut lors du défaut à la terre.~~

9.3.5 — ~~Choix du niveau d'isolement assigné~~

~~Les Tableaux 4 et 5 spécifient les valeurs de tension de tenue assignée aux chocs de foudre.~~

~~Il convient de choisir entre la liste 1 et la liste 2 du Tableau 4 en considérant le degré d'exposition aux surtensions de foudre et de manœuvre, le mode de mise à la terre du neutre du réseau et, éventuellement, le type d'appareil de protection contre les surtensions.~~

~~Le matériel répondant à la liste 1 convient à des installations telles que celles indiquées ci-dessous:~~

- ~~a) dans les réseaux et dans les installations industrielles non reliés à des lignes aériennes:~~

- ~~1) dont le neutre est mis à la terre soit directement soit par une bobine dont l'impédance a une valeur faible par rapport à celle d'une bobine d'extinction. Des dispositifs de protection contre les surtensions, tels que des parafoudres, ne sont généralement pas nécessaires;~~
- ~~2) dont le neutre est mis à la terre par une bobine d'extinction et lorsqu'une protection convenable contre les surtensions est prévue dans des réseaux particuliers, par exemple un réseau étendu de câbles où des parafoudres aptes à décharger la capacité des câbles peuvent être nécessaires;~~
- ~~b) dans les réseaux et dans les installations industrielles reliés à des lignes aériennes par l'intermédiaire de transformateurs pour lesquels il existe des câbles ou des capacités additionnelles d'au moins 0,05 μ F par phase connectés entre les bornes secondaires du transformateurs et la terre, côté transformateur par rapport aux fusibles et aussi près que possible des bornes du transformateur. Cela couvre le cas des réseaux dont~~
 - ~~1) le neutre est mis à terre soit directement soit par une bobine dont l'impédance a une valeur faible par rapport à celle d'une bobine d'extinction (une protection contre les surtensions au moyen de parafoudres peut être souhaitable);~~
 - ~~2) le neutre est mis à la terre par une bobine d'extinction et sur lesquels une protection convenable contre les surtensions est assurée par des parafoudres;~~
- ~~c) dans les réseaux et dans les installations industrielles reliés directement à des lignes aériennes dont~~
 - ~~1) le neutre est mis à la terre soit directement soit par une bobine dont l'impédance a une valeur faible par rapport à celle d'une bobine d'extinction et sur lesquels existe une protection convenable contre les surtensions, soit par éclateurs, soit par parafoudres, adaptée à la probabilité de l'amplitude et de la fréquence des surtensions;~~
 - ~~2) le neutre est mis à la terre par une bobine d'extinction et sur lesquels une protection convenable contre les surtensions est assurée par des parafoudres.~~

~~Dans tous les autres cas, ou lorsqu'on exige un très haut degré de sécurité, il convient d'utiliser le matériel répondant à la liste 2.~~

~~NOTE En cas d'utilisation de tensions de tenue assignées aux chocs de foudre de la liste 1, un accord entre le constructeur et l'utilisateur peut être nécessaire en ce qui concerne les valeurs maximales des surtensions de fonctionnement spécifiées dans le Tableau 7.~~

9.3.6 — Caractéristiques temps-courant des fusibles à haute tension

~~Comme indiqué en 9.3.2, le courant assigné d'un fusible à haute tension, bien qu'important, n'est que l'un des facteurs à considérer pour choisir un fusible pour une application donnée.~~

~~La caractéristique temps-courant est un facteur déterminant lors du choix de tels fusibles. Cette caractéristique est en relation étroite avec~~

- ~~a) la tenue du fusible aux courants transitoires, par exemple courant d'enclenchement de transformateurs à vide, courant de démarrage de moteur;~~
- ~~b) la coordination avec les autres dispositifs de protection associés par exemple relais de déclenchement du disjoncteur amont, fusibles BT en aval, relais de démarrage de moteur;~~
- ~~c) le niveau de protection apporté au circuit associé au transformateur, à la commande de moteur, etc.~~

~~L'IEC 60644 et l'IEC 60787 donnent quelques conseils sur les caractéristiques préférentielles respectivement pour la commande des moteurs et pour les circuits de transformateurs de distribution. Néanmoins, il n'a pas été possible de normaliser les caractéristiques temps-courant des fusibles à haute tension à cause des grandes différences existant entre les pratiques nationales et les philosophies de protection. C'est pourquoi il y a souvent de grandes différences entre les caractéristiques d'éléments de remplacement de caractéristiques assignées similaires, mais de type ou de fabrication différents.~~

~~Il est donc conseillé de consulter les constructeurs de fusibles et de comparer les caractéristiques temps-courant pour choisir l'élément de remplacement optimal pour une application donnée.~~

~~9.3.7 Fusibles connectés en parallèle~~

~~Chaque élément fusible de même référence et courant assigné peut être connecté en parallèle par l'utilisateur afin d'obtenir un courant assigné supérieur à celui qui serait obtenu avec un seul fusible. Dans ces cas, il convient de respecter ce qui suit.~~

- ~~a) Le fabricant du fusible doit être consulté de manière à déterminer l'adéquation d'une conception donnée d'un fusible pour une connexion en parallèle.~~
- ~~b) Le courant assigné de la combinaison sera généralement légèrement inférieur à la somme des courants nominaux de chaque fusible, en raison, par exemple, des effets thermiques de proximité.~~
- ~~c) Les valeurs I^2t de la combinaison pendant le fonctionnement seront environ égales à $n^2 \times I^2t$ d'un seul élément fusible, où n est le nombre d'éléments fusibles connectés en parallèle.~~
- ~~d) La valeur du courant coupé limité de la combinaison pendant le fonctionnement sera environ égale à $n \times$ valeur du courant coupé limité pour un seul élément fusible à un courant présumé I_p/n , où I_p est la valeur du courant présumé de la combinaison et n le nombre d'éléments fusibles connectés en parallèle.~~
- ~~e) Sauf information du fabricant, on suppose que la capacité maximum de coupure de la combinaison des fusibles en parallèle n'est pas supérieure à celle d'un seul fusible, et le courant minimum de coupure de la combinaison n'est pas inférieur à n fois celui d'un seul fusible du même type donné où n est le nombre de fusibles en parallèle.~~

~~9.4 Fonctionnement~~

~~9.4.1 Immobilisation du fusible dans la position de service~~

~~Il est spécialement recommandé de s'assurer que l'élément de remplacement est soigneusement immobilisé dans la position de service.~~

~~9.4.2 Remplacement des éléments de remplacement~~

~~Il est recommandé d'enlever les éléments de remplacement et de les mettre en place lorsque le circuit est à vide.~~

~~Il est recommandé de remplacer les trois éléments de remplacement lorsque les fusibles d'un circuit triphasé ont fonctionné sur une ou deux phases à moins qu'on sache avec certitude qu'aucune surintensité n'a traversé les éléments de remplacement non fondus.~~

~~9.5 Mise au rebut~~

~~Le constructeur doit indiquer, le cas échéant, les précautions à prendre avec les fusibles usagés pour préserver l'environnement.~~

~~Il est de la responsabilité de l'utilisateur de prendre en compte tous les règlements locaux applicables à la mise au rebut des produits et de s'y conformer.~~

Pour les informations d'application, voir les parties de l'Article 5 de l'IEC/TR 62655:2013 qui sont applicables aux fusibles limiteurs de courant.

Explication: Au cours de la rédaction de cet amendement à la Publication 60282-1, éd.7.0, son Article 9 Guide d'application a également été soumis à certaines modifications. Le contenu technique de cet Article 9 modifié a été entre temps intégré à l'Article 5 de l'IEC/TR 62655, Guide explicatif et d'application pour les fusibles à haute tension, publiée en mai 2013. D'où la décision de supprimer le contenu de l'Article 9 dans la 60282-1 amendée.

Annexe A (normative)

Méthode de tracé de l'enveloppe de la tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit et détermination des paramètres représentatifs

A.1 Généralités

Une onde de tension transitoire de rétablissement peut se présenter sous différentes formes aussi bien oscillatoires que non oscillatoires.

Lorsque l'onde correspond sensiblement à une oscillation amortie à une seule fréquence, l'enveloppe est constituée de deux segments de droite consécutifs. L'enveloppe doit refléter d'aussi près que possible la forme réelle de la tension transitoire de rétablissement. La méthode décrite dans cette annexe permet d'atteindre ce résultat dans la majorité des cas pratiques avec une approximation suffisante.

NOTE Néanmoins, on peut rencontrer certains cas pour lesquels la construction proposée conduirait à des paramètres manifestement plus sévères que la représentation par une courbe de la tension transitoire de rétablissement. Il convient de considérer de tels cas comme des exceptions et ils feront en conséquence l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur ou le laboratoire d'essais.

A.2 Tracé de l'enveloppe

La méthode suivante est utilisée pour construire les segments de droite formant l'enveloppe de la courbe de la tension transitoire de rétablissement présumée.

- a) Le premier segment de droite passe par l'origine O, est tangent à la courbe, et ne doit pas la couper.

Dans le cas de courbes dont la partie initiale présente une concavité vers la gauche, le point de contact est souvent au voisinage de la première crête (voir le segment OA sur la [Figure A.1](#)).

Si la concavité est tournée vers la droite, comme dans le cas d'une courbe exponentielle, le point de contact est au voisinage de l'origine (voir le segment OA sur la [Figure A.2](#)).

- b) Le deuxième segment de droite a pour support une ligne horizontale tangente à la courbe au point correspondant à la crête la plus élevée (voir le segment AC sur les [Figures A.1](#) et [A.2](#)).

On obtient ainsi l'enveloppe à deux paramètres O, A, C.

A.3 Détermination des paramètres

Les paramètres représentatifs sont, par définition, les coordonnées des points d'intersection des segments de droite constituant l'enveloppe.

Les deux paramètres u_c et t_3 , indiqués dans les [Figures A.1](#) et [A.2](#), peuvent être obtenus en prenant les coordonnées du point d'intersection A.

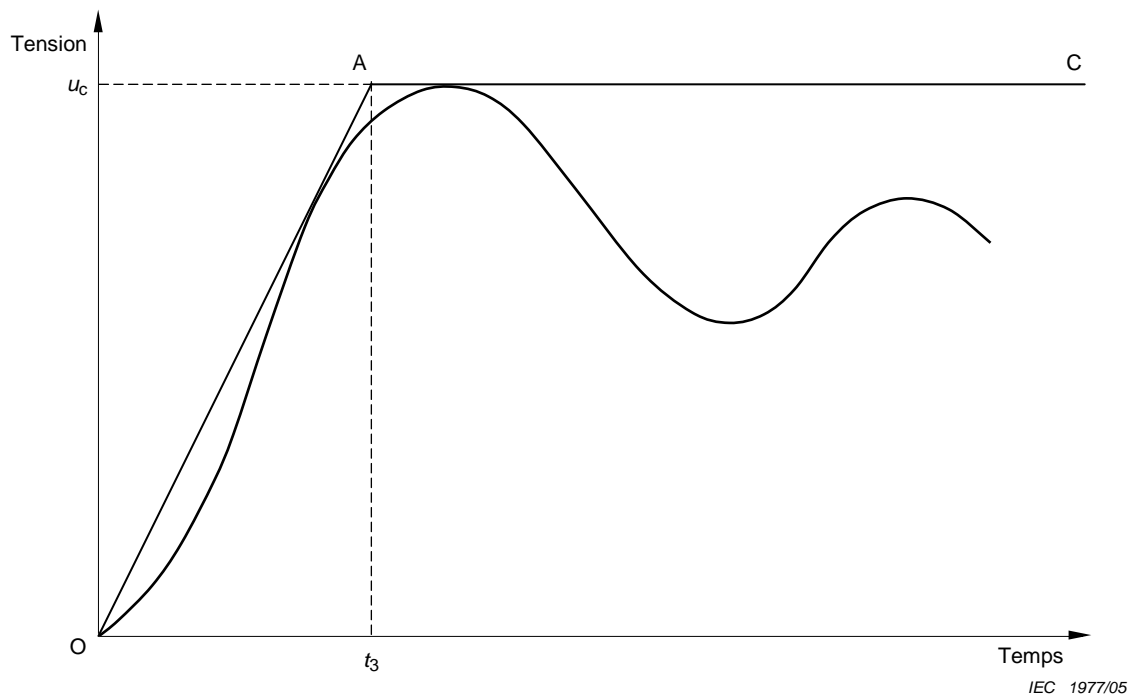


Figure A.1 – Exemple d'un tracé de référence à deux paramètres pour une TTR dont la partie initiale présente une concavité vers la gauche

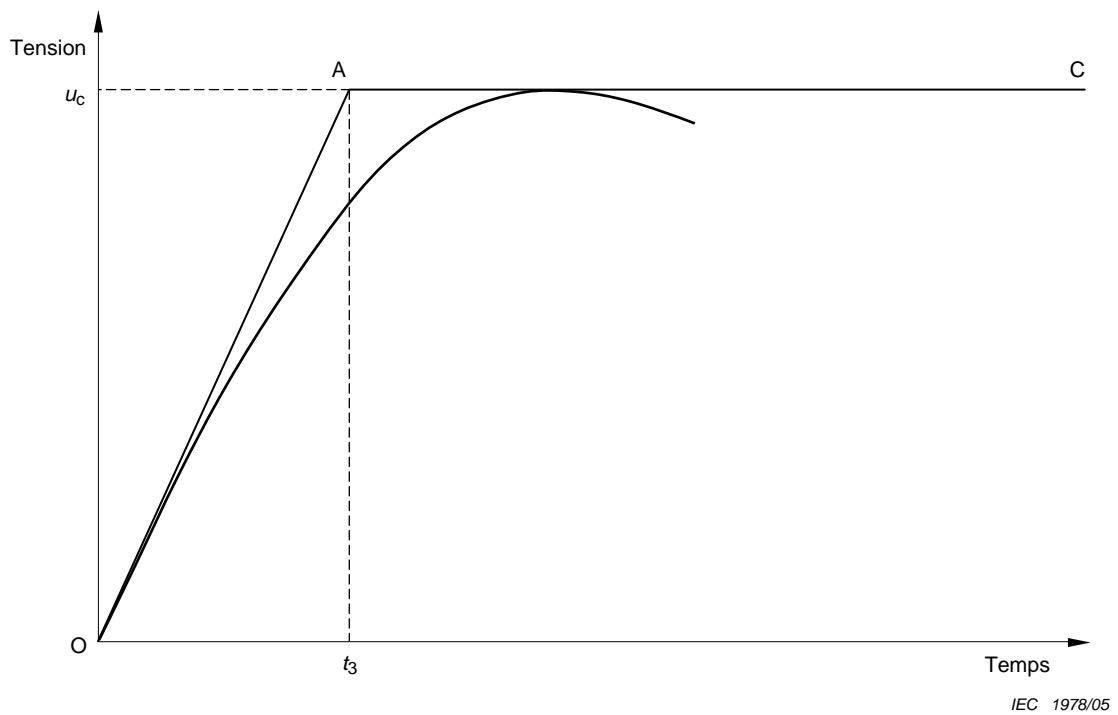


Figure A.2 – Exemple d'un tracé de référence à deux paramètres pour une TTR exponentielle

Annexe B (informative)

Justification du choix des caractéristiques de TTR pour les suites d'essais 1, 2 et 3

Il faut qu'un fusible à haute tension fonctionne de façon satisfaisante dans toutes les conditions de service normales et interrompe le circuit sans provoquer de surtension de coupure trop élevée. C'est pourquoi il est recommandé que les essais de coupure spécifiés dans la présente norme représentent autant que possible les conditions les plus sévères normalement rencontrées en service. Etant donné que les fusibles sont utilisés dans les mêmes réseaux que les disjoncteurs, il pourrait sembler logique d'utiliser les mêmes caractéristiques de TTR présumées que celles spécifiées pour les disjoncteurs dans l'IEC 62271-100. Cependant, une étude approfondie a montré que ces caractéristiques ne conviennent pas aux essais de fusible du fait que les principes de coupure mis en jeu pour les disjoncteurs et les fusibles sont différents.

Comme un disjoncteur, un fusible peut provoquer des phénomènes transitoires dans la tension de rétablissement après le zéro de courant, mais il engendre également une tension d'arc élevée pouvant varier avec les caractéristiques du circuit déterminé par les paramètres de la TTR. C'est pourquoi il faut considérer deux effets totalement différents de ces paramètres: leurs influences sur la tension d'arc et leur influence sur la tension transitoire de rétablissement.

Les non-coupures des fusibles peuvent être dues soit à une crête de tension excessive au cours de la période d'arc, soit après extinction de l'arc, à une tension excessive en elle-même ou provoquant des réamorçages successifs. Il convient donc que les essais fassent la preuve qu'aucune défaillance de ce genre ne se produira.

Il est apparu nécessaire d'essayer les fusibles à trois valeurs de courant différentes I_1 , I_2 et I_3 correspondant aux suites d'essais 1, 2 et 3 du [Tableau 13](#). Etant donné que les essais au courant I_3 concernent généralement le fonctionnement sur de faibles courants de surcharge, il suffit, pour couvrir toute la gamme des courants de court-circuit présumés, d'effectuer les essais aux courants I_1 et I_2 qui sont parfois très éloignés l'un de l'autre. En général I_2 est compris entre 0,2 % et 100 % de I_1 , suivant le courant assigné, le courant maximal de coupure assigné et la conception d'un fusible donné. La large gamme des pouvoirs de coupure présumés, chacun d'eux étant associé à une infinité de caractéristiques de TTR, ne peut être couverte par deux courants d'essai qu'en tenant compte de la connaissance empirique du comportement des fusibles limiteurs de courant. Les faits suivants, découlant de la connaissance actuelle de la technique des fusibles et d'essais probants, ont été pris en considération.

Au cours de la période d'arc, un fusible absorbe une telle quantité d'énergie que les oscillations de la tension transitoire dues à l'inductance et à la capacité du circuit sont généralement complètement amorties. Il ne peut y avoir d'exception que durant les toutes premières microsecondes après la fusion, au moment où l'arc s'établit. A cet instant, l'arc est encore dans un milieu relativement froid et l'effet d'amortissement par absorption d'énergie peut être faible, d'où des crêtes élevées de tension de rétablissement si la tension d'arc atteint très rapidement une valeur plus élevée que la crête de la tension de la source.

Cependant, la majorité des fusibles se trouvant actuellement sur le marché est conçue de telle sorte que la tension d'arc ne monte pas de cette façon et que des tensions d'arc excessives ne se manifestent généralement pas.

De plus, des phénomènes transitoires n'apparaîtront dans la tension de rétablissement que si, immédiatement avant ou après un zéro de courant, il y a saut de la tension d'arc à la force électromotrice du circuit ou s'il y a arrachement du courant. Compte tenu de la post-

conductivité des produits chauds décomposés par l'arc dans un élément de remplacement fondu, il ne peut y avoir un arrachement important et seul le saut de tension est à considérer.

Comme le fusible absorbe une grande quantité d'énergie pendant la période d'arc, on peut considérer que la valeur du facteur de puissance tend vers l'unité. Le véritable zéro de courant est ainsi plus près du zéro de tension qu'il ne le serait dans le même circuit sans tension d'arc. Pour des courants très élevés représentés par I_1 , il n'y a pratiquement pas de saut de tension au zéro de courant et par conséquent pas de phénomènes transitoires sur la tension de rétablissement.

Toutefois, pour la suite d'essais 2 où I_2 est généralement plus faible que I_1 , la valeur du facteur de puissance est peu modifiée et la valeur de la force électromotrice du circuit au zéro de courant est assez élevée pour donner lieu à un saut de tension et à des phénomènes transitoires importants. La valeur de I_2 est choisie à dessein pour procurer les conditions donnant la variation minimale du facteur de puissance de telle sorte que le saut de tension maximal ait plus de chance de se produire qu'avec le courant I_1 . Dans les toutes premières millisecondes après le zéro de courant, les produits chauds résultant de l'action de l'arc sont encore conducteurs et cette conductivité décroît au fur et à mesure que la chaleur est dissipée, lentement par rapport aux constantes de temps de la tension transitoire. Lors de l'essai des fusibles, cette conductivité procure un amortissement complémentaire des phénomènes transitoires de la tension de rétablissement. Cependant, l'importance de cet amortissement est proportionnelle à l'impédance caractéristique du circuit

$$\sqrt{LC} = 2\pi f_0 L$$

et il en résulte que les phénomènes transitoires à fréquence propre élevée f_0 sont plus efficacement amortis que ceux à fréquence propre plus basse. Ces phénomènes transitoires à basse fréquence sont donc entretenus plus longtemps et, comme ils se superposent à la tension de rétablissement à fréquence industrielle, ils peuvent soumettre l'élément de remplacement fondu à une contrainte de tension supplémentaire, notamment s'ils persistent jusqu'au moment où la tension de rétablissement à fréquence industrielle atteint sa valeur de crête. Des non-coupures dues à des réamorçages se sont produites à cause de cette contrainte supplémentaire, et il faut que les spécifications d'essais tiennent compte de ce phénomène.

Les considérations précédentes peuvent se résumer comme suit.

La tension d'arc d'un fusible n'est pas affectée de façon importante par les caractéristiques de la TTR du circuit, sauf pendant les toutes premières millisecondes après la fusion.

L'apparition de phénomènes transitoires dans la tension de rétablissement propre dépend de la valeur du courant coupé. Il faut s'attendre aux phénomènes transitoires les plus importants avec les courants I_2 de la suite d'essais 2 et ce sont les phénomènes transitoires avec les fréquences propres les plus basses qui sont les plus dangereux. Si le courant d'essai I_1 est très grand par rapport à I_2 , il ne donne généralement pas lieu à des phénomènes transitoires.

Comme il était souhaitable que les caractéristiques de TTR soient les mêmes pour les fusibles et les disjoncteurs, il a été décidé d'accepter les valeurs normalisées spécifiées dans l'IEC 62271-100. Toutefois, pour tenir compte des raisons exposées précédemment, les décisions suivantes relatives aux essais ont été prises.

Suite d'essais 1 – Comme la tension de rétablissement réelle n'est pas soumise à des phénomènes transitoires, fixer des caractéristiques pour la TTR présumée est sans objet et de telles caractéristiques ne sont donc pas spécifiées. Le cas exceptionnel où les caractéristiques de la TTR peuvent influencer la crête de la tension d'arc a été traité séparément.

Suite d'essais 2 – Comme il a été démontré que les phénomènes transitoires à basse fréquence étaient les plus dangereux, des valeurs appropriées pour définir une TTR présumée

caractéristique à basse fréquence ont été déduites des paramètres spécifiés dans l'IEC 62271-100 (voir Tableaux 14 et 15 de la présente norme). En supposant des oscillations à une seule fréquence, ces valeurs représentent un quart à un tiers des valeurs des fréquences les plus basses spécifiées dans l'IEC 62271-100 pour les tensions correspondantes. En outre, les valeurs de crête de la tension ont été basées sur un facteur d'amplitude de 1,5, en comparaison de 1,4 dans les Tableaux 9 et 10 de la présente norme.

Suites d'essais 3 – La présente norme ne spécifie pas de caractéristiques de TTR, tandis que 6.6.1.2 précise qu'une résistance doit être connectée en parallèle avec les réactances du circuit pour supprimer totalement les phénomènes transitoires oscillants. Cependant, l'expérience montre que ces phénomènes ne sont pas toujours supprimés, notamment dans les circuits à très basse fréquence propre, lorsque la résistance a la valeur spécifiée. C'est pourquoi ces valeurs ont été modifiées pour obtenir au moins l'amortissement critique quelle que soit la fréquence propre du circuit d'essai.

Annexe C (informative)

Dispositif recommandé pour les essais d'échauffement des éléments de remplacement d'appareillage immergés dans l'huile

La [Figure C.1](#) donne un exemple caractéristique d'un dispositif d'essai pour éléments de remplacement d'un diamètre de 63,5 mm, de longueurs de 256 mm à 361 mm et de courants assignés de 63 A à 200 A.

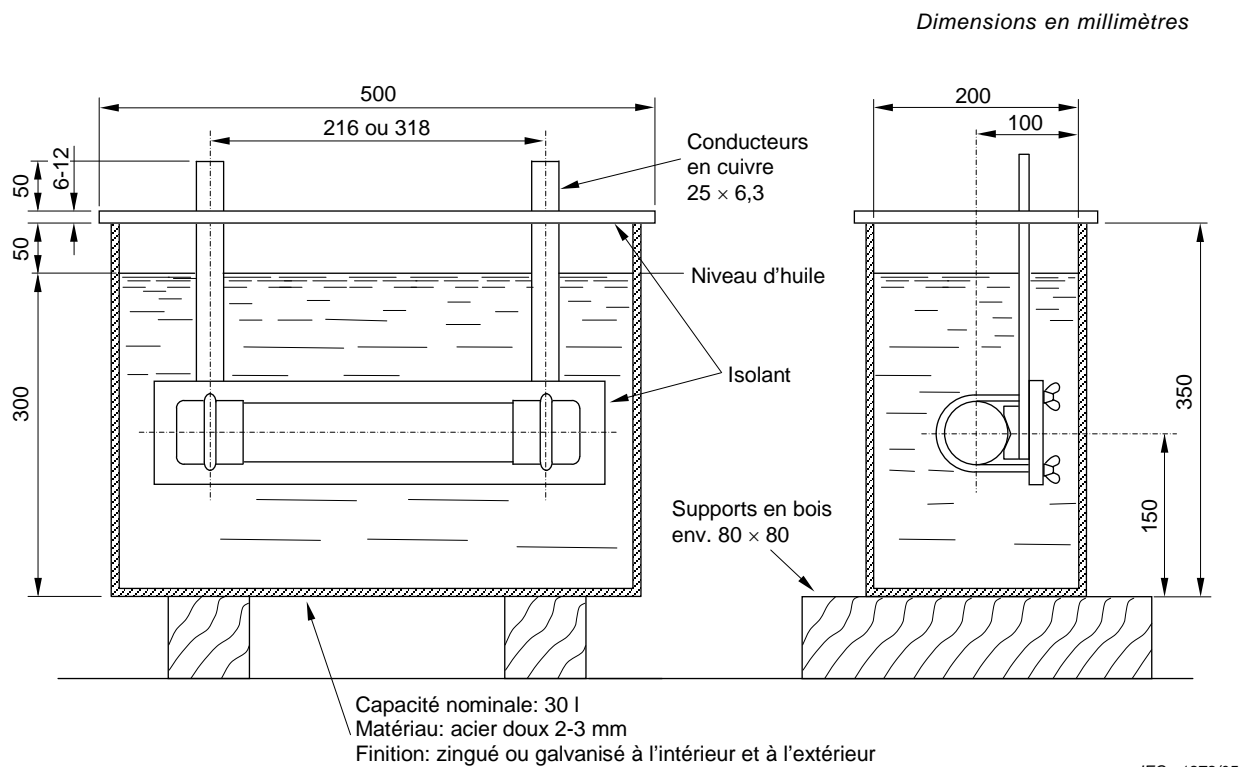
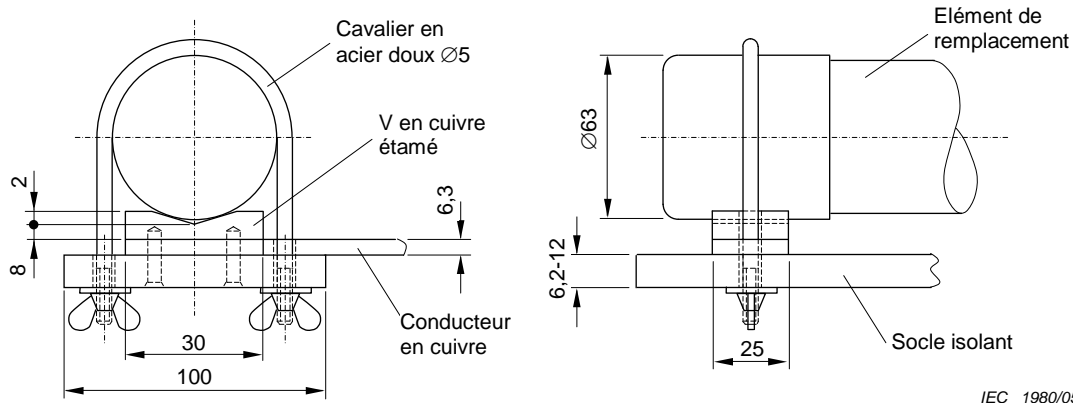


Figure C.1 – Cuve d'essai pour essais d'échauffement des fusibles immergés dans l'huile



NOTE Le dispositif peut également être utilisé pour les essais de pouvoir de coupure. Il peut être renforcé de façon appropriée, si nécessaire, et les éléments de remplacement peuvent être déplacés de façon à équilibrer les distances électriques.

Figure C.2 – Détail de la fixation de l'élément de remplacement de la cuve

Annexe D (informative)

Types et dimensions des éléments de remplacement limiteurs de courant spécifiés dans les normes nationales existantes

La présente annexe est une première étape vers une normalisation dimensionnelle des éléments de remplacement limiteurs de courant. Elle rassemble et classe uniquement les types et les dimensions spécifiés dans les différentes normes nationales existantes. D'autres pratiques courantes ayant d'autres dimensions ne figurent pas dans cette annexe pour la simple raison qu'elles ne font pas partie d'une normalisation officielle.

Le but de cette annexe est d'informer les pays des efforts faits pour normaliser les éléments de remplacement et de les inciter à tendre vers une réduction du nombre de modèles. Une deuxième étape est escomptée pour mettre à jour et compléter cette annexe de façon à réaliser une normalisation universelle assurant l'interchangeabilité dimensionnelle des éléments de remplacement limiteurs de courant.

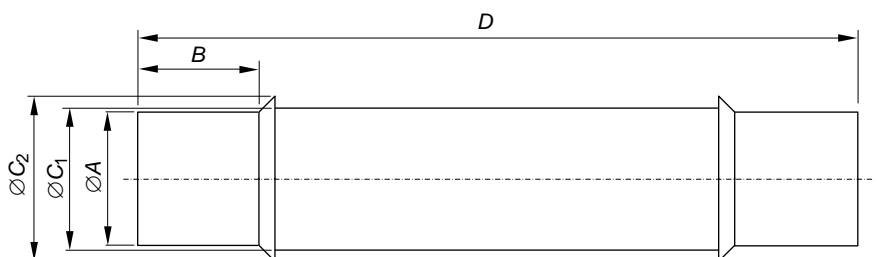
Dans l'attente de renseignements ultérieurs, trois types d'éléments de remplacement (I, II et III) sont définis selon les dimensions indiquées dans les feuilles de caractéristiques I, II et III ci-après.

ÉLÉMENTS DE REMPLACEMENT POUR FUSIBLES LIMITEURS DE COURANT		Feuille de caractéristiques I		
TYPE I <i>Dimensions en millimètres</i>				
<p style="text-align: right; font-size: small;">IEC 1981/05</p>				
ØA	B	ØC ₂ min.	ØC ₁ et C ₂ max.	D ₋₁ ⁰
45 ± 1	33 ⁺² ₀	50	88	192 292 367 442 537
55 ± 0,5	35 ± 1	60	80	450
Le percuteur ou l'indicateur éventuels doivent se trouver dans l'axe de l'élément de remplacement.				

	ÉLÉMENTS DE REMPLACEMENT POUR FUSIBLES LIMITEURS DE COURANT	Feuille de caractéristiques II
--	--	--------------------------------------

TYPE II

Dimensions en millimètres

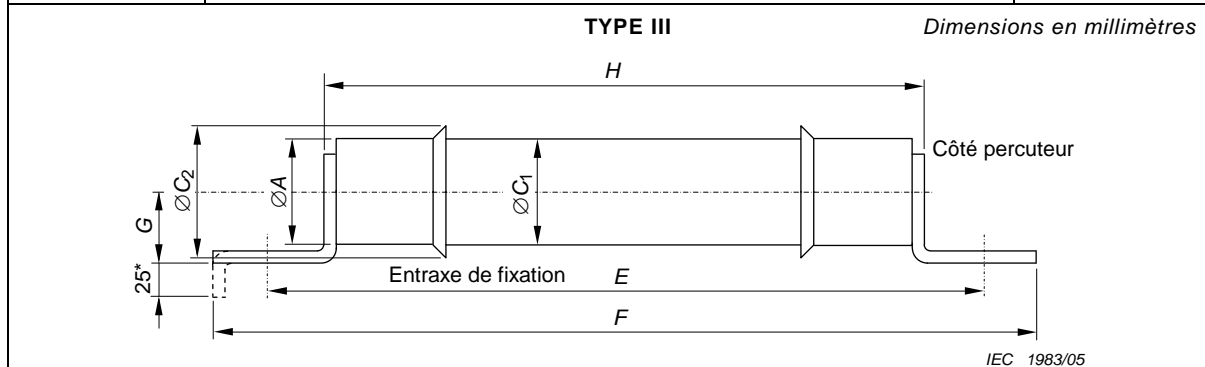


IEC 1982/05

$\varnothing A \pm 0,5$	$B \begin{smallmatrix} +13 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$\varnothing C_1$ 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

Le percuteur ou l'indicateur éventuels doivent se trouver dans l'axe de l'élément de remplacement.

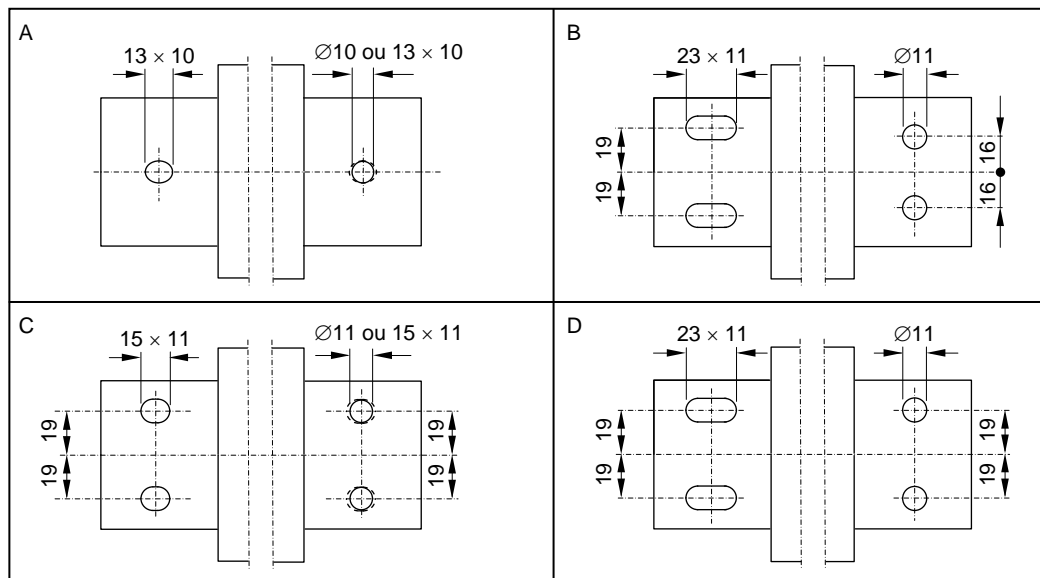
ÉLÉMENTS DE REMPLACEMENT POUR FUSIBLES LIMITEURS DE COURANT	Feuille de caractéristiques III
--	---



* Seulement pour patte D.

$\varnothing A$ max.	$\varnothing C_1$ max.	$\varnothing C_2$ max.	<i>E</i>	F_{-8}^0	<i>H</i> max.	<i>G</i>	Tags
80	80	81	235	259	200	42 ± 2	Figure A
			305	340	264	42 ± 2	Figure B
			419	464	369	41 ± 2	Figure D
82	82	91	235	277	205	Supérieur ou égal à $\varnothing C_2/2$	Figure A
			267	309	227		Figure C
			305	347	269		Figure B-C
			320	362	280		Figure C
			400	442	360		Figure C
			419	464	375		Figure D
			476	518	436		Figure C
553	595	517	Figure B				

Un ou deux trous, ronds ou ovalisés, sont prévus sur les pattes de fixation des éléments de remplacement comme suit.



IEC 1984/05

Le percuteur ou l'indicateur éventuels doivent se trouver dans l'axe de l'élément de remplacement (à droite sur les croquis).

Annexe E (normative)

Exigences relatives à certains types d'éléments fusibles conçus pour être utilisés dans un environnement dont la température est supérieure à 40 °C

E.1 Types d'éléments fusibles concernés par la présente annexe

E.1.1 Généralités

La présente annexe ne traite que certains types d'éléments fusibles. Les autres types, bien qu'ils soient utilisés dans des applications qui les exposent à des environnements dont la température dépasse les 40 °C, sont considérés comme non concernés par tout ou partie de ces exigences en raison de leur construction, de leur application, ou de leur historique de service.

E.1.2 Types d'éléments fusibles concernés

- a) Éléments fusibles Associés et d'Usage Général dits «organiques» comme définis en 3.3.10.
- b) Éléments fusibles à Coupure Intégrale de tous types.

E.1.3 Éléments fusibles non concernés

- a) Les éléments fusibles de type Associé et d'Usage Général non classés comme organiques ne sont pas concernés par les exigences d'essai de coupure TAM.
- b) Les éléments fusibles organiques conçus pour être utilisés uniquement en association avec un appareillage déclenché par percuteur, ne sont pas concernés par les exigences d'essai de coupure TAM.
- c) Les éléments fusible de type Associé dits «organiques» conçus uniquement pour être utilisés dans des équipements où il n'y a aucune source de chaleur importante autre que le fusible lui-même (par exemple, les éléments fusibles dans les combinaisons interrupteur-fusible traitées par l'IEC 62271-105 ou similaires) ne sont pas concernés par les exigences d'essai de coupure TAM.

E.2 Généralités

Les conditions de service normales telles qu'indiquées en 2.1 de la présente norme spécifient une température ambiante maximum de 40 °C. Cependant, certains types d'éléments fusibles sont conçus pour être utilisés dans des environnements dont la température est largement supérieure à cette limite. Les exemples d'application incluent l'utilisation dans des cuves de transformateur et d'autres équipements capables de dégager une chaleur importante, et également des situations impliquant un rayonnement solaire direct intense ou des températures ambiantes élevées. La présente annexe indique les types spécifiques d'éléments fusibles concernés et les exigences spéciales applicables aux fusibles pour de telles applications. Lorsqu'un élément fusible conçu pour une telle application nécessite des essais conformément à la présente annexe, une température d'application maximum (TAM) définie à l'Article E.3 est affectée au fusible. Il s'agit de la température à laquelle ces essais sont réalisés. Si la température maximum pour une application particulière est connue, un fusible testé de manière appropriée peut alors être choisi (c'est-à-dire, un fusible ayant une TAM égale ou supérieure à la température maximum prévue en service).

Il convient de noter que, pour certaines applications, la TAM peut uniquement apparaître dans des conditions anormales, par exemple surcharge du transformateur ou défaillance de

l'équipement. Dans ces cas, bien qu'il soit possible d'affecter une TAM appropriée à un fusible, celui-ci peut ne pas convenir à un fonctionnement en continu à une telle température sans dépasser les températures maximums spécifiées dans le [Tableau 6](#). En effet, certaines valeurs types de TAM peuvent être supérieures aux températures maximum spécifiées dans le [Tableau 6](#).

Il est probable que les fusibles concernés par la présente annexe nécessitent un déclassement pour des conditions de service types (voir ~~Annexe F IEC/TR 62655:2013~~, [Annexe A](#) et consulter le fabricant pour des informations sur le déclassement des fusibles devant être utilisés dans des environnements dont la température est supérieure à 40 °C).

E.3 Définitions

Température d'application maximum (TAM)

Il s'agit d'une température affectée par un fabricant à un élément fusible. Elle correspond à la température maximum de l'environnement en contact avec l'élément fusible à laquelle ce dernier peut résister sans que sa capacité à interrompre le courant de défaut ne soit altérée. Elle s'applique uniquement aux fusibles conçus pour être utilisés à des températures supérieures à 40 °C.

E.4 Valeurs assignées privilégiées de TAM

Pour les éléments fusibles conçus pour être utilisés à des températures supérieures à 40 °C, le fabricant doit fournir des informations concernant la valeur TAM. Cette valeur doit être sélectionnée à partir des séries R20 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 112, 125, 140, etc. Les valeurs privilégiées sont 71 °C, 112 °C et 140 °C.

E.5 Conditions de service spécifiques

Les exigences dans la présente annexe sont destinées à couvrir les conditions de service suivantes. Elles sont identiques à celles traitées dans l'Annexe informative F qui traite du déclassement lorsque la température environnante du fusible est supérieure à 40 °C.

- a) Fusibles installés à l'extérieur avec écoulement libre de l'air autour de l'élément fusible. La TAM assignée de l'élément fusible concerné est basée sur la température de l'air qui refroidit le fusible.
- b) Fusibles installés dans des enveloppes de grande dimension avec écoulement de l'air relativement libre autour de l'élément fusible. La TAM assignée de l'élément fusible concerné est basée sur la température de l'air à l'intérieur de l'enveloppe, air qui refroidit le fusible.
- c) Éléments fusibles installés dans des enveloppes ou des puits de dimension relativement faible (voir point c) de l'Article F.2). Il est important de noter que la TAM assignée de l'élément fusible concerné est basée sur la température de l'air ou du liquide, air ou liquide qui refroidit l'extérieur de la petite enveloppe ou du puits.

NOTE Des gaz autres que l'air peuvent être utilisés pour le refroidissement, par exemple le SF₆.

- d) Éléments fusibles installés dans des enveloppes de grande dimension avec circulation relativement libre du liquide autour de l'élément fusible. La TAM assignée de l'élément fusible concerné est basée sur la température du liquide qui refroidit le fusible.

E.6 Essais de coupure supplémentaires

E.6.1 Règles d'essai

Les règles pour les essais de coupure doivent être telles que spécifiées en 6.3 et 6.6.1, et comme suit.

Les essais suivants doivent être réalisés en plus de ceux spécifiés en 6.6, sauf spécification contraire dans la présente annexe.

NOTE Réaliser des essais conformément à 6.6, avec des températures environnantes inférieures à 40 °C, est nécessaire car, pour certaines conceptions de fusibles et pour certains aspects de la coupure, des essais à des températures inférieures peuvent être plus contraignants. Des essais à des températures élevées sont nécessaires car, pour d'autres conceptions et pour d'autres aspects de la coupure, des essais à des températures élevées peuvent être plus contraignants.

a) Suite d'Essai 1:

Aucun essai supplémentaire n'est requis.

NOTE Les essais de la suite d'Essai 1 sont considérés comme non nécessaires puisque les échecs à des températures élevées sont généralement associés à des températures de composant élevées et les essais de la série 2 (prévus pour approcher de l'énergie d'arc maximum) peuvent produire des températures supérieures.

b) Suite d'Essai 2:

Pour tous les fusibles Associés dits «organiques», fusibles d'Usage Général dits «organiques» et fusibles à Coupure Intégrale dits «organiques», trois essais de la suite d'Essai 2, en plus de ceux spécifiés dans le [Tableau 13](#), doivent être réalisés avec les fusibles à la température environnante maximum spécifiée par le fabricant (TAM). Les essais supplémentaires s'appliquent uniquement au courant assigné le plus élevé d'une série homogène.

c) Suite d'Essai 3:

Pour les fusibles Associés dits «organiques»: si la durée de fusion observée pendant les essais de la suite d'Essai 3 spécifiés en 6.6.1.1 et réalisés avec une température environnante inférieure à 40 °C, s'avère supérieure à 100 s, deux essais supplémentaires de la suite d'Essai 3 doivent être réalisés avec le fusible à sa TAM. Ces essais supplémentaires s'appliquent uniquement au courant assigné le plus élevé d'une série homogène dont la durée de fusion est supérieure à 100 s.

Pour tous les fusibles d'Usage Général: aucun essai supplémentaire n'est ~~requis (mais voir 9.3.2)~~ exigé. Toutefois, le courant d'essai utilisé pour l'essai TD3 peut, dans des environnements dont la température est supérieure à 40 °C, provoquer ensuite la fusion du fusible en moins d'une heure. A la demande de l'utilisateur, des informations sur la relation temps-courant peuvent être fournies pour faire face à cette situation (voir IEC/TR 62655:2013, 5.1.1.2.8).

Pour tous les fusibles à Coupure Intégrale: les essais spécifiés dans le [Tableau 13](#) sont remplacés par les essais spécifiés en E.6.3.

E.6.2 Modalités d'essai

Les modalités d'essai seront telles que spécifiées en 6.6.2 et 6.6.3 et comme suit.

Dans la plupart des cas, les essais à température élevée traités dans la présente annexe peuvent être réalisés avec le fusible placé dans un environnement thermique stable, tel qu'un four à régulation de température, réglé à la température pour laquelle le fusible est spécifié par le fabricant (TAM). Lorsque le corps du fusible atteint une température stable, tout ventilateur à circulation d'air utilisé doit être arrêté pour le reste de l'essai. Si un fusible conçu pour être utilisé uniquement dans des enveloppes remplies d'huile est testé dans l'air, pour des raisons de commodité (voir 6.6.1.5.2), il n'est pas nécessaire d'arrêter le ventilateur à circulation d'air pendant l'essai.

Généralement, lorsque les essais sont réalisés conformément à l'Annexe E, l'élément fusible ne sera pas installé dans un équipement réel avec lequel il sera utilisé en service (par exemple, lorsqu'un four est utilisé pour créer la TAM). Dans ce cas, alors que l'élément fusible doit être installé de manière à simuler le plus possible les conditions de service, il est admis que tous les aspects de son installation (par exemple, la mise à la terre des composants) peuvent ne pas respecter pleinement toutes les exigences de 6.3 et 6.6. Cependant, cela est considéré comme acceptable, dans la mesure où les essais de l'Annexe E sont réalisés en plus des essais traités en 6.6.

Si un élément fusible, qui doit être testé conformément à la présente annexe, est conçu pour être utilisé dans une enveloppe de faible dimension ou en puits (voir le point c) de l'Article E.5), il doit être testé dans une enveloppe appropriée de faible dimension (formant un «fusible sous enveloppe ou puits» (FEP) pour simuler les conditions de service. Si la TAM assignée à l'élément fusible/FEP est supérieure à 40 °C, la combinaison fusible et enveloppe doit être installée dans un four ou une enveloppe plus grande afin de permettre au milieu ambiant qui refroidit le FEP (par exemple l'air ou l'huile) d'avoir une température égale ou supérieure à la TAM assignée. Une source de chauffage auxiliaire, telle que détaillée ci-dessus, peut être utilisée. En général, il n'est pas nécessaire de tester un FEP si l'élément fusible qu'il utilise a été testé dans des conditions équivalentes ou plus sévères.

E.6.3 Suite d'Essai 3 des fusibles à Coupure Intégrale

Pour les fusibles à Coupure Intégrale conçus pour être utilisés dans un environnement où la température est supérieure à 40 °C, les essais de la suite d'essai 3 doivent être réalisés dans une enveloppe chauffée conçue de manière à simuler cette application, comme détaillé en E.6.2.

Le courant d'essai I_3 est choisi de manière à représenter l'intensité la plus basse qui pourrait entraîner la fusion de l'élément fusible lorsqu'elle est appliquée à la température environnante maximum spécifiée par le fabricant (TAM). Voir l'Article E.7 pour plus de détails concernant le montage d'essai et la méthode pour déterminer l'intensité I_3 .

Un essai de coupure en deux parties est alors effectué tel qu'indiqué au point c) ou d) de 6.6.3.1. Le courant haute tension I_3 est déterminé à partir des essais thermiques décrits à l'Article E.7. La source basse tension peut être réglée sur une valeur supérieure au I_3 pendant la période de préarc afin d'éviter toute durée d'essai inutilement longue, sous réserve que la durée de préarc résultante ne soit pas inférieure à 1 h.

Après 1 h, le courant à basse tension peut être augmenté jusqu'à 15 % au-dessus de sa valeur originale afin de provoquer la fusion.

E.7 Fusible à Coupure Intégrale: détermination du courant I_3

Cette procédure peut être réalisée par le constructeur.

Trois échantillons doivent être utilisés pour déterminer la valeur de I_3 . Chaque échantillon est placé dans un environnement dont la température est stable, comme cela est décrit en E.6.2, ajustée à la valeur de MAT pour laquelle le fusible a été assigné par le constructeur.

Lorsque le corps du fusible a atteint une température stable, on fait alors circuler un courant dans le fusible. Lorsque la température du corps de l'élément de remplacement s'est stabilisée, la valeur du courant est à nouveau augmentée. Cette procédure est répétée jusqu'au fonctionnement du fusible. La température est considérée stable lorsque le taux d'élévation de la température ne dépasse pas 2 % ou 1 K/h.

Le taux d'augmentation du courant n'est pas spécifié mais il pourrait typiquement se situer dans la gamme de 5 % à 10 %.

Le courant le plus élevé que chacun des trois fusibles a porté sans fusionner est alors retenu. I_3 est défini comme étant 0,9 fois la plus faible valeur de ces trois courants. Le facteur 0,9 est utilisé pour tenir compte des tolérances de fabrication, de façon à ce que l'essai avec I_3 soit réalisé avec un courant légèrement inférieur au courant le plus faible qui pourrait provoquer la fusion d'un élément de remplacement lorsqu'il est utilisé dans un environnement dont la température est égale à la température maximale pour laquelle le fusible a été assigné par le fabricant.

Annexe F **(informative)**

Détermination du déclassement lorsque la température environnant le fusible est supérieure à 40 °C

F.1 — Objet

~~L'objet de cette annexe est d'aider à déterminer le déclassement thermique d'un fusible pour une température de fluide l'entourant supérieure à 40 °C qui peut être due à une forte température ambiante dans une situation ouverte ou par l'utilisation dans une enveloppe. Il s'applique donc aux cas suivants:~~

- ~~a) déclassement pour utilisation à une température de l'air ambiant supérieure à 40 °C;~~
- ~~b) déclassement pour utilisation sous enveloppes relativement grandes;~~
- ~~c) déclassement pour utilisation sous enveloppes relativement petites;~~
- ~~d) déclassement pour utilisation dans un bain d'huile.~~

~~De plus, la méthode e) peut être utilisée à la place des méthodes a), b), c) ou d) ci-dessus.~~

~~NOTE — D'autres méthodes de déclassement sont utilisées dans certains pays — voir Bibliographie.~~

F.2 — Généralités

~~Cette norme aide au choix du courant assigné des éléments de remplacement, voir 9.3.2, et indique que l'utilisation en enveloppe peut conduire à la sélection d'un autre courant permanent maximal admissible I_{encl} pour une combinaison particulière de l'élément de remplacement et de l'enveloppe. De plus, il indique que la convenance d'un élément de remplacement à une utilisation spécifique en enveloppe est de la responsabilité du fournisseur de l'ensemble du fusible sous enveloppe ou puits (FEP).~~

~~NOTE — FEP désigne la combinaison du fusible et de son enveloppe.~~

~~Les résultats des essais de dissipation thermique (voir 6.5) en combinaison avec une méthode de détermination de la température de l'enveloppe permettront au constructeur de FEP de déterminer le courant permanent maximal acceptable pour n'importe quel FEP, avant confirmation par essai.~~

~~Beaucoup d'éléments de remplacement HT sont utilisés pour des circuits de transformateurs pour la sélection desquels l'IEC 60787 donne un guide de choix. Comme indiqué au point a) de l'Article 3 de l'IEC 60787, il convient que ces éléments de remplacement aient des courants de fonctionnement relativement forts aux environs de 0,1 s de la caractéristique temps-courant. Pour satisfaire à cette exigence, le courant assigné de l'élément de remplacement est généralement supérieur au courant de pleine charge du circuit et le déclassement tel que déterminé par cette annexe est donc généralement déjà satisfait.~~

~~Il peut être nécessaire de déclasser un élément de remplacement pour l'une ou l'autre des raisons suivantes.~~

- ~~— Pour limiter la température d'un point chaud à l'intérieur à une valeur qui n'engendrera pas de détérioration. Cette valeur dépend de la conception particulière de l'élément de remplacement.~~
- ~~— Pour s'assurer que la température des contacts ne dépasse pas les valeurs maximales du Tableau 6 de la présente norme.~~

~~Le courant assigné de l'élément de remplacement est souvent déterminé par la première raison. Cependant, lorsque le refroidissement devient plus restrictif et que le déclassement du courant augmente, la différence de température entre les éléments fusibles et l'extérieur de l'enveloppe du fusible diminue. Cela conduit à déterminer le courant maximal en charge non plus à partir de la température des points chauds des éléments fusibles, mais à partir de la température des contacts.~~

~~a) Déclassement pour utilisation à une température de l'air ambiant supérieure à 40 °C~~

~~— Considérant que le courant assigné de l'élément de remplacement ne peut plus être utilisé lorsque la température ambiante de son environnement dépasse 40 °C, la Figure F.1 indique le pourcentage de déclassement nécessaire en fonction de la température ambiante. Les diverses courbes correspondent aux valeurs de température maximale admissible pour les contacts et pour les bornes spécifiées au Tableau 6.~~

~~— Il est souligné que le déclassement est basé sur les limites de température maximale du Tableau 6 et non sur les températures réelles atteintes en faisant les essais d'échauffement selon 6.5 de la présente norme. Cela tient bien compte des éléments de remplacement dont le courant assigné est déterminé de façon que leur échauffement soit inférieur aux valeurs maximales acceptables du Tableau 6. Il est particulièrement valable pour les petits calibres mais peut aussi être appliqué aux forts calibres. Le déclassement couvre d'autres aspects à l'intérieur de l'élément de remplacement, la température des points chauds en particulier, et conduit généralement à des facteurs de déclassement qui excèdent du côté sécurité. Les valeurs obtenues à partir de la Figure F.1 sont prévues pour être utilisées lorsque le constructeur de l'élément de remplacement ne donne pas d'information plus précise. Lorsque cette information existe, des facteurs de déclassement moins forts peuvent être appliqués.~~

~~b) Déclassement pour utilisation sous enveloppes relativement grandes~~

~~— Des exemples typiques de cette catégorie sont les enveloppes tripolaires où une bonne part de la dissipation de la chaleur produite par les éléments de remplacement se fait par convection. Les distances aux flancs de l'enveloppe (et aux éventuelles cloisons), quoiqu'elles ne soient pas forcément métalliques, sont de l'ordre de grandeur des distances d'isolement nécessaire dans le milieu entourant immédiatement les éléments de remplacement pour des enveloppes métalliques sans pare-effluve.~~

~~— La Figure F.1 peut être utilisée pour aider à déterminer la valeur de I_{encl} d'éléments de remplacement lorsqu'ils sont utilisés dans une enveloppe donnée. La Figure F.1 est aussi utilisée pour vérifier si I_{encl} convient, lorsque la température environnant les fusibles est connue. Cependant, la difficulté à résoudre est que la chaleur dissipée par l'élément de remplacement a un effet direct sur la température ambiante interne à l'enveloppe.~~

~~— L'IEC 60890 donne une méthode de calcul de l'échauffement de l'air à l'intérieur d'une enveloppe et les mêmes principes peuvent être appliqués aux enveloppes contenant des fusibles HT.~~

~~— Prenons l'exemple illustré par la Figure F.2 d'éléments de remplacement de 100 A ayant une puissance dissipée de 85 W au courant assigné.~~

~~NOTE Les valeurs réelles de puissance dissipée sont données par le constructeur de l'élément de remplacement selon 6.5.3.~~

~~— Remplir le tableau de la Figure F.3 (l'IEC 60890 donne toutes explications sur la marche à suivre).~~

~~— La Figure F.4 donne le tableau rempli et une valeur de I_{encl} de 80 A est supposée convenir. La première section conduit à une surface efficace de refroidissement A_e . Les constantes K , d , x et c sont fournies par l'IEC 60890. Quelques explications sont nécessaires pour la puissance dissipée réelle P .~~

~~— Il faut supposer une valeur de I_{encl} et en déduire la puissance dissipée correspondante. Une valeur de 80 A a été présumée convenir dans cet exemple et la puissance dissipée correspondante est $(80/100)^2 \times 85 = 54,4$ W. Elle entraîne un échauffement de la partie supérieure de l'enveloppe de 37,5 K.~~

~~— Si maintenant on utilise la Figure F.1 pour déterminer le facteur de déclassement pour des contacts boulonnés (105 °C) dans une température ambiante de 40 °C + 37,5 °C = 77,5 °C,~~

~~on trouve un facteur de 65 %. Appliqué au courant assigné de 100 A, ce facteur donne un courant admissible de $100 \text{ A} \times 0,65 = 65 \text{ A}$. La valeur supposée de 80 A est donc considérée comme excessive.~~

~~— Il faut répéter l'exercice en supposant une valeur plus faible. Prenons 70 A, donc une puissance dissipée de $(70 \times 100)^2 \times 85 = 41,6 \text{ W}$. Cela entraîne un échauffement du haut de l'enveloppe de 30,3 K. Si on cherche dans la Figure F.1, le facteur de déclassement pour une température ambiante de $40 \text{ °C} + 30,3 \text{ °C} = 70,3 \text{ °C}$, on trouve 73 %. Appliqué au courant assigné de 100 A, ce facteur donne un courant admissible de $0,73 \times 100 \text{ A} = 73 \text{ A}$, supérieur à la valeur de I_{encl} de 70 A qui est donc acceptable.~~

~~— Cet exemple montre comment utiliser l'IEC 60890 et la Figure F.1 pour déterminer un courant I_{encl} acceptable pour un FEP. Lorsque d'autres appareils ou connexions à l'intérieur de l'enveloppe dissipent une puissance appréciable, celle-ci doit être ajoutée à celle dissipée par les fusibles.~~

~~c) Déclassement pour utilisation sous enveloppes relativement étroites ou puits~~

~~— Dans le contexte du déclassement des fusibles, les principales remarques caractéristiques suivantes s'appliquent aux puits.~~

~~— Le puits est une enveloppe monophasée type.~~

~~— La distance entre la surface extérieure de l'élément de remplacement et la surface intérieure du puits est faible, de l'ordre de 10 % à 25 % du diamètre de l'élément de remplacement.~~

~~— A cause de cet espace réduit, le refroidissement se fait moins par convection, mais plutôt par rayonnement et par conduction. L'élément de remplacement et le puits forment un ensemble intégré et le déclassement peut souvent être déterminé à partir de la puissance dissipée maximale que l'ensemble peut supporter.~~

~~— Selon les matériaux employés dans la construction du puits, la température intérieure du puits peut être le facteur principal de déclassement.~~

~~— Du fait de l'étroite interaction entre élément de remplacement et puits, le déclassement de l'ensemble ne peut normalement se faire que par mesurage.~~

~~d) Déclassement pour utilisation dans un bain d'huile~~

~~— Les courants assignés permanents d'éléments de remplacement destinés à être utilisés dans l'huile sont déterminés par des essais dans des conditions assez précises simulant les conditions de service (voir 6.5.1.2). Le déclassement éventuel en enveloppe est en général minimal. Cependant, il convient de prendre en compte la température extérieure lorsqu'elle est supérieure à 40 °C.~~

~~— Résumé~~

~~— Les méthodes a) à d) fournissent un moyen de prédétermination et ne remplacent pas les essais réels que le constructeur de FEP est supposé effectuer. Les résultats de ces essais, lorsqu'ils existent, prévalent contre toute estimation faite en utilisant la présente annexe.~~

~~e) Autre méthode pour établir un déclassement~~

~~— Si le constructeur du FEP ou l'utilisateur peut essayer le matériel complet avec les fusibles concernés, il est permis d'adopter la méthode suivante pour déterminer le courant I_{encl} du FEP.~~

~~1) Demander au constructeur de fusible la valeur de la puissance dissipée (W_r) au courant assigné (I_r) de l'élément de remplacement dans les conditions d'essais normales décrites dans cette norme (voir 6.5.3.).~~

~~— A partir de cette valeur, calculer la valeur maximale admissible de la résistance à chaud de l'élément de remplacement (formule W_r / I_r^2).~~

~~2) Monter un ensemble de trois éléments de remplacement comme en service. Appliquer un courant croissant régulièrement jusqu'à ce que~~

~~— la résistance à chaud (obtenue en divisant la chute de tension aux bornes de chaque élément de remplacement par le courant) atteigne la valeur calculée en 1) ci-dessus, ou que~~

~~— l'échauffement des contacts et des bornes du fusible atteint les limites admissibles spécifiées en 4.7.~~

~~3) La valeur de I_{encl} de l'élément de remplacement sera la plus faible des valeurs suivantes:~~

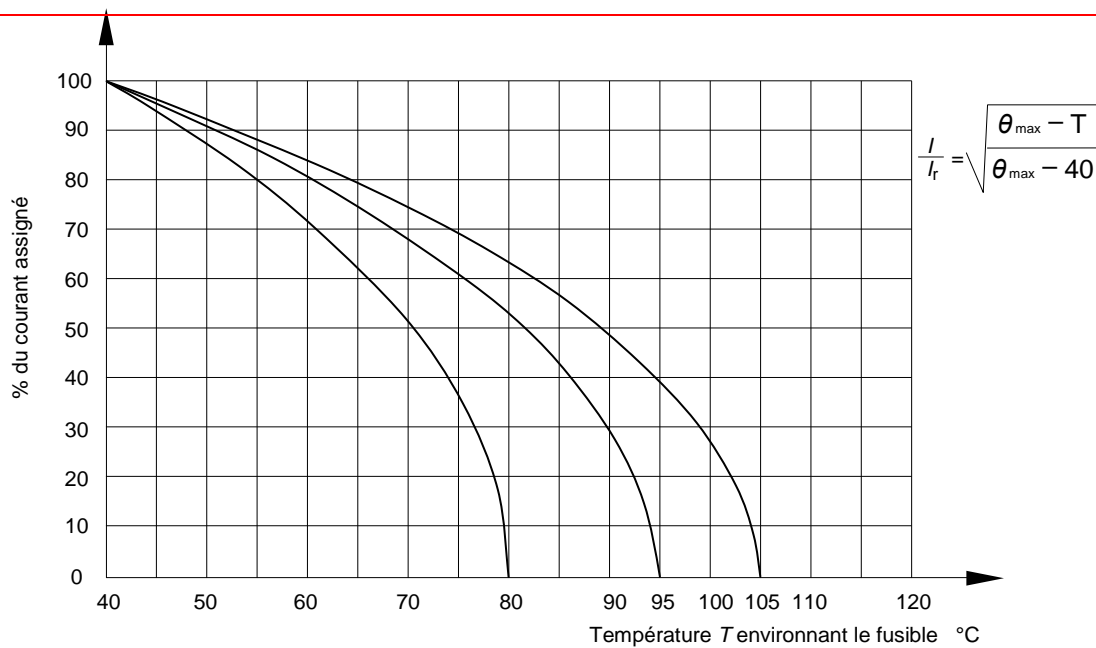
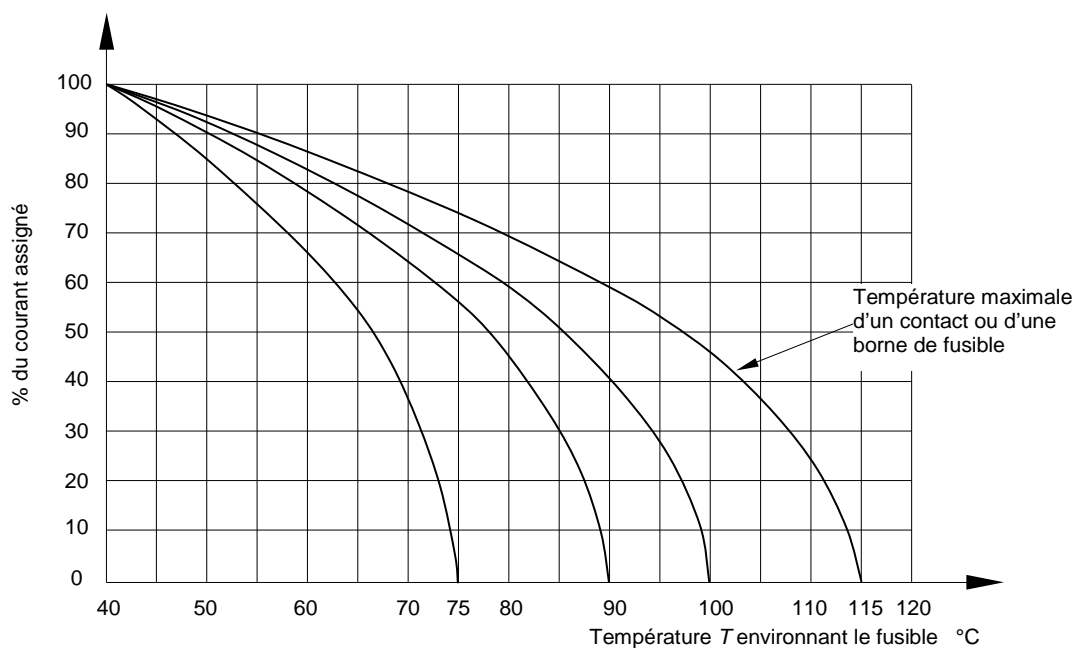
~~la valeur qui donne la résistance à chaud maximale admissible;~~

~~la valeur qui donne l'échauffement maximal approprié spécifié en 4.7.~~

~~Il convient de noter que la présente annexe se conjugue avec les exigences de courant permanent à pleine charge du matériel associé et/ou protégé tel que transformateur ou moteur. Il convient que l'utilisation dans des conditions de surcharge cyclique fasse l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.~~

Tableau F.1 – Limites de température extraites du Tableau 6

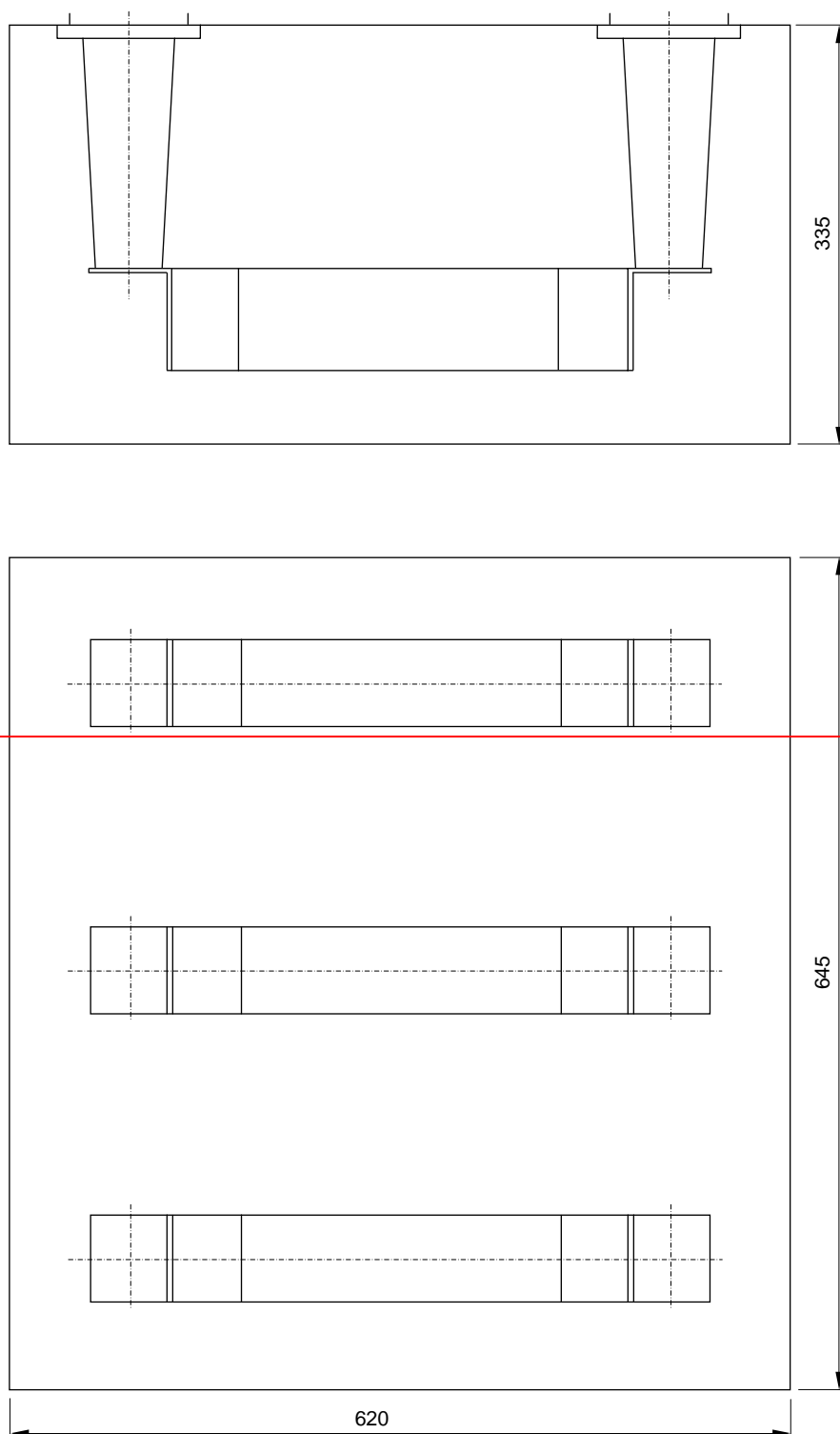
Températures limites			
Température maximale °C	Milieu	Type	Revêtement
75	air	Contact élastique	Nu
80	huile	Contact élastique	Nu
		Contact boulonné	Nu
90	air	Contact boulonné	Nu
		Borne boulonnée	Nu
	huile	Contact élastique	Ag, Sn ou Ni
95	air	Contact élastique	Sn
100	huile	Contact boulonné	Ag, Sn ou Ni
105	air	Contact élastique	Ag ou Ni
		Contact boulonné	Sn
		Borne boulonnée	Ag, Sn ou Ni
115	air	Contact boulonné	Ag ou Ni



IEC 1985/05

Figure F.1 — Courbe de déclassement pour certaines limites de température autorisées

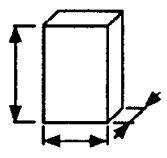
Dimensions en millimètres



IEC 1986/05

Figure F.2 – Exemple pratique: dimensions

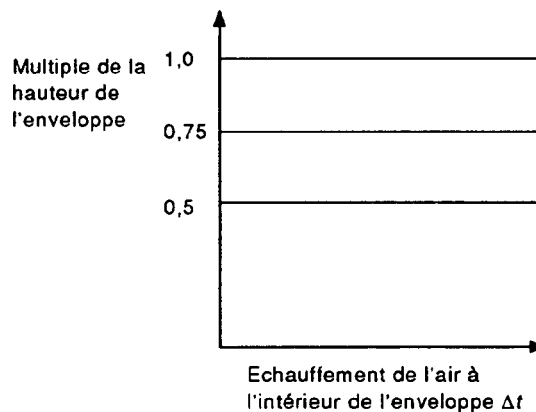
Calcul de l'échauffement de l'air à l'intérieur d'enveloppes				
Client/Installation				
Type d'enveloppe				
Dimensions applicables pour la détermination de l'échauffement	hauteur	mm	Type d'installation:	
	largeur	mm	Orifices de ventilation: oui/non	
	profondeur	mm	Nombre de séparations horizontales:	

Sur-face effective de refroidissement		Dimensions	A_o	Facteur de surface b suivant tableau 3	$A_o \times b$ (colonne 3) x (colonne 4) m ²
		m x m	m ²		
		2	3		
	Partie supérieure				
	Façade				
	Arrière				
Côté gauche					
Côté droit					
$A_o - \Sigma (A_o \times b) = \text{Total}$					

Avec une surface effective de refroidissement A_o	
Supérieure à 1,25 m ²	Inférieure ou égale à 1,25 m ²
$f = \frac{h^{1,35}}{A_o}$ (voir 5.2.3)	$g = \frac{h}{w}$ (voir 5.2.3)

Orifices d'entrée d'air	cm ²
Constante d'enveloppe k	
Facteur pour séparations horizontales d	
Puissance dissipée effective P	W
$P^x = P^{***}$	
$\Delta t_{0,5} = k \cdot d \cdot P^x$	K
Facteur de répartition de température c	
$\Delta t_{1,0} = c \cdot \Delta t_{0,5}$	K

Courbe caractéristique:

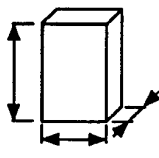


Extrait de la CEI 60890

IEC 1185/01

Figure F.3 – Extrait de l'IEC 60890

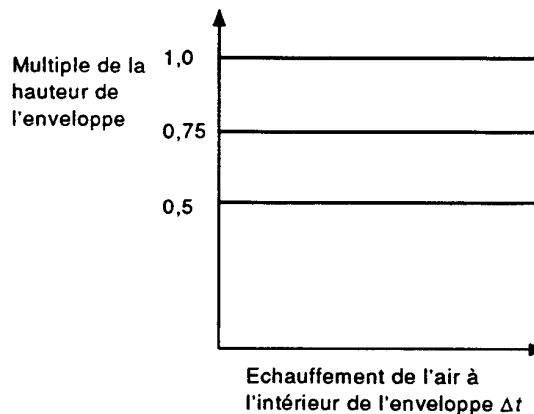
Calcul de l'échauffement de l'air à l'intérieur d'enveloppes			
Client/Installation	pour exemple seulement (voir figure 2)		
Type d'enveloppe	triphasee		
Dimensions applicables pour la détermination de l'échauffement	hauteur	620 mm	Type d'installation:
	largeur	645 mm	Orifices de ventilation:
	profondeur	335 mm	oui/non NON
			Nombre de séparations horizontales: aucun

Surface effective de refroidissement		Dimensions	A_o	Facteur de surface b suivant tableau 3	$A_o \times b$ (colonne 3) x (colonne 4)
		m x m	m^2		m^2
		2	3		4
Partie supérieure		0,645 x 0,335	0,216	1,4	0,3024
Façade		0,645 x 0,620	0,400	0,9	0,3600
Arrière		0,645 x 0,620	0,400	0,9	0,3600
Côté gauche		0,335 x 0,620	0,208	0,9	0,1869
Côté droit		0,335 x 0,620	0,208	0,9	0,1869
$A_o - \Sigma (A_o \times b) = \text{Total}$					1,396

Avec une surface effective de refroidissement A_o	
Supérieure à 1,25 m ²	Inférieure ou égale à 1,25 m ²
$f = \frac{h^{1,35}}{A_o} \quad (\text{voir 5.2.3 de la CEI 60890})$ $\frac{0,620^{1,35}}{0,645 \times 0,335} = 2,43$	$g = \frac{h}{w} \quad (\text{voir 5.2.3 de la CEI 60890})$ <p style="text-align: center;">1^{er} essai Final</p>

Orifices d'entrée d'air	cm ²	-	-
Constante d'enveloppe k		0,48	0,48
Facteur pour séparations horizontales d		1	1
Puissance dissipée effective P	W	54,4 x 3 = 163	41,6 x 3 = 124,8
$P^x = P^{0,804}$		60,1	48,5
$\Delta t_{0,5} = k \cdot d \cdot P^x$	K	28,85	23,3
Facteur de répartition de température c		1,3	1,3
$\Delta t_{1,0} = c \cdot \Delta t_{0,5}$	K	37,5	30,3
		à 80A	à 70A

Courbe caractéristique:



Exemple d'application

IEC 1186/01

Figure F.4 – Exemple pratique d'application

Annexe F
(informative)

**Guide pratique pour le déclassement thermique des fusibles
limiteurs de courant**

L'Annexe A de l'IEC/TR 62655:2013 doit être utilisée.

Annexe G (informative)

Critères pour déterminer la validité des essais I_t

G.1 Généralités

Les fusibles qui nécessitent un essai I_t sont ceux dans lesquels, à différents niveaux d'intensité, différents mécanismes en série de l'élément réalisent la majeure partie de la fonction d'interruption du courant. Lorsque les essais avec des intensités élevées (TD1 et TD2) et les essais de faibles intensités (TD3) ne couvrent pas la zone de recouvrement entre les courants interrompus par les différents mécanismes de l'élément fusible, les essais I_t sont conçus de manière à démontrer qu'il n'y a pas de courant ne pouvant pas être coupé, soit par les différents mécanismes individuellement, soit par une association de ces mécanismes. En raison de la grande diversité de conception des fusibles, il n'y a pas de règle simple pour déterminer la validité de ces essais, l'objectif de la présente annexe est donc de donner des instructions générales à ceux qui essaient de vérifier que les essais I_t qui ont été réalisés démontrent bien ce qui doit l'être.

G.2 Processus de coupure

L'illustration la plus simple du phénomène I_t serait probablement un élément fusible ayant un seul élément comprenant une section limiteur de courant (ruban avec des encoches) en série avec une section à expulsion (élément dans une gaine). A des intensités élevées, seules les rubans fondent et entrent en régime d'arc (avec une fusion pratiquement simultanée de toutes les encoches) alors qu'à des intensités plus faibles, seule la section à expulsion fond et produit un arc. Avec une telle conception, les caractéristiques temps-courant (TC) des deux mécanismes en série se croiseront à un certain courant intermédiaire où à la fois la section faible intensité et au moins une encoche de la section haute intensité fondent et génèrent un arc. Un tel courant de recouvrement peut généralement être déterminé relativement facilement, et est bien défini si les courbes TC se croisent avec un angle relativement grand. Ce courant de recouvrement est le courant I_t du fusible. Les essais à ces deux niveaux d'intensité, un peu au-dessus et en dessous de cette intensité I_t démontreront en conséquence que l'élément fusible peut interrompre le courant le plus élevé devant être interrompu par la section des faibles intensités (sans l'aide de la section des hautes intensités), et que l'élément fusible peut interrompre le courant le plus faible devant être interrompu par la section des hautes intensités (sans l'aide de la section des faibles intensités).

On peut alors émettre l'hypothèse raisonnable que la section des hautes intensités peut interrompre tous les courants supérieurs à I_t , et que la section des faibles intensités peut interrompre tous les courants inférieurs à I_t . Le respect de la norme peut être vérifié si chaque courant d'essai produit un arc uniquement dans la section appropriée. Ces conditions peuvent être vérifiées par des techniques telles qu'un examen physique (c'est-à-dire l'ouverture de l'élément fusible), un contrôle radiographique aux rayons X ou équivalent.

L'illustration simple ci-dessus indique le principe de base à suivre pour tous les fusibles. Cependant, de nombreuses conceptions de fusible ne se conforment pas à ce processus simple. Les caractéristiques temps-courant des sections en série peuvent se croiser avec un angle si étroit qu'il n'y a pas une valeur I_t distincte, mais plutôt une zone de recouvrement qui est supérieure à $\pm 20\%$ de toute valeur de courant. Pour d'autres conceptions, les caractéristiques temps-courant peuvent ne pas se croiser du tout, il est donc possible pour une section de fondre pour tous les courants, même lorsque c'est une autre section qui effectue la majeure partie de la fonction d'interruption. Avec certaines conceptions qui ont de nombreux éléments en parallèle, la valeur du courant à laquelle les sections des hautes intensités commencent à fondre et participent au processus d'interruption peut être considérablement inférieure à la valeur apparente de recouvrement qui correspond à l'intersection des courbes

temps-courant pour les différentes sections. Cela est dû au phénomène par lequel, à certaines intensités, les éléments en parallèle ne produisent pas un arc de manière simultanée mais séquentielle. Dans tous ces cas, seul le fabricant du fusible est en mesure de spécifier les valeurs du courant d'essai qui démontreront le respect de la norme et, souvent, seul le fabricant est capable de déterminer si un essai particulier a démontré le résultat souhaité. Cela est dû au fait que la simple démonstration de l'interruption du courant n'est pas un critère suffisant pour démontrer que la zone de recouvrement a été explorée de manière adéquate. En conséquence, 6.6.1.3 permet au fabricant de spécifier d'autres courants d'essais que $1,2 I_t$ et $0,8 I_t$, si ces valeurs ne sont pas appropriées

Bibliographie

IEC 60050(441):1984, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

IEC 60050(604):1987, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 604: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Exploitation*

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

IEC/TR 60890:1987, *Méthode de détermination par extrapolation des échauffements pour les ensembles d'appareillage à basse tension dérivés de série (EDS)*

IEC 62271-1:2007, *Appareillage à haute tension – Partie 1:Spécifications communes*

IEC 62271-100:2008, *Appareillage à haute tension – Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif*

FINAL VERSION

VERSION FINALE

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

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
1 General.....	8
1.1 Scope.....	8
1.2 Normative references	8
2 Normal and special service conditions.....	8
2.1 Normal service conditions	8
2.2 Other service conditions	10
2.3 Special service conditions	10
2.4 Environmental behaviour	10
3 Terms and definitions	10
3.1 Electrical characteristics.....	10
3.2 Fuses and their component parts	13
3.3 Additional terms	15
4 Ratings and characteristics	16
4.1 General.....	16
4.2 Rated voltage (U_r).....	17
4.3 Rated insulation level (of a fuse-base).....	17
4.4 Rated frequency.....	18
4.5 Rated current of the fuse-base	18
4.6 Rated current of the fuse-link (I_r).....	19
4.7 Temperature-rise limits.....	19
4.8 Rated breaking capacity	20
4.8.1 Rated maximum breaking current (I_b).....	20
4.8.2 Rated minimum breaking current and class	21
4.9 Limits of switching voltage.....	21
4.10 Rated transient recovery voltage (rated TRV).....	22
4.10.1 General	22
4.10.2 Representation of TRV	24
4.10.3 Representation of rated TRV	24
4.11 Time-current characteristics	24
4.12 Cut-off characteristic	25
4.13 I^2t characteristics.....	25
4.14 Mechanical characteristics of strikers	26
4.15 Special requirement for Back-Up fuses intended for use in switch-fuse combination according to IEC 62271-105	26
4.15.1 General	26
4.15.2 Maximum body temperature under pre-arcing conditions	27
4.15.3 Maximum arcing withstand time	27
5 Design, construction and performance.....	27
5.1 General requirements with respect to fuse operation	27
5.1.1 General	27
5.1.2 Standard conditions of use	27
5.1.3 Standard conditions of behaviour.....	28
5.2 Identifying markings	28
5.3 Dimensions	29

6	Type tests	29
6.1	Conditions for making the tests	29
6.2	List of type tests	29
6.3	Common test practices for all type tests	30
6.3.1	General	30
6.3.2	Condition of device to be tested	30
6.3.3	Mounting of fuses	30
6.4	Dielectric tests	30
6.4.1	Test practices	30
6.4.2	Application of test voltage for impulse and power-frequency test	30
6.4.3	Atmospheric conditions during test	31
6.4.4	Lightning impulse voltage dry tests	31
6.4.5	Power-frequency voltage dry tests	31
6.4.6	Power-frequency wet tests.....	31
6.5	Temperature-rise tests and power-dissipation measurement	32
6.5.1	Test practices	32
6.5.2	Measurement of temperature	33
6.5.3	Measurement of power dissipation.....	33
6.6	Breaking tests	34
6.6.1	Test practices	34
6.6.2	Test procedure	40
6.6.3	Alternative test methods for Test Duty 3	43
6.6.4	Breaking tests for fuse-links of a homogeneous series	45
6.6.5	Acceptance of a homogeneous series of fuse-links by interpolation	46
6.6.6	Acceptance of a homogeneous series of fuse-links of different lengths	46
6.7	Tests for time-current characteristics.....	47
6.7.1	Test practices	47
6.7.2	Test procedures	47
6.8	Tests of strikers.....	47
6.8.1	General	47
6.8.2	Strikers to be tested	48
6.8.3	Operation tests	48
6.8.4	Test performance	48
6.9	Electromagnetic compatibility (EMC)	49
7	Special tests.....	49
7.1	General	49
7.2	List of special tests.....	49
7.3	Thermal shock tests	50
7.3.1	Test sample.....	50
7.3.2	Arrangement of the equipment.....	50
7.3.3	Test method	50
7.4	Power-dissipation tests for fuses not intended for use in enclosures	50
7.5	Waterproof test (ingress of moisture).....	50
7.5.1	Test conditions	50
7.5.2	Test sample.....	50
7.5.3	Test method	50
7.6	Tests for Back-Up fuses for use in switch-fuse combination of IEC 62271-105	50
7.6.1	General	50

7.6.2	Pre-arcing temperature rise test	50
7.6.3	Arcing duration withstand test	51
7.7	Insulating liquid-tightness tests	51
7.7.1	General	51
7.7.2	Liquid-tightness tests for switchgear type applications	51
7.7.3	Liquid-tightness tests for transformer type applications	53
8	Routine tests	56
9	Application guide	56
Annex A (normative)	Method of drawing the envelope of the prospective transient recovery voltage of a circuit and determining the representative parameters	57
Annex B (informative)	Reasons which led to the choice of TRV values for Test Duties 1, 2 and 3	59
Annex C (informative)	Preferred arrangements for temperature-rise tests of oil-tight fuse-links for switchgear	61
Annex D (informative)	Types and dimensions of current-limiting fuse-links specified in existing national standards.....	62
Annex E (normative)	Requirements for certain types of fuse-links intended for use at surrounding temperatures above 40 °C	65
Annex F (informative)	Practical guidelines for thermal derating of current-limiting fuses.....	69
Annex G (informative)	Criteria for determining I_t testing validity.....	70
	Bibliography	71
Figure 1	– Terminology	14
Figure 2	– Permissible switching voltages for fuse-links of small current ratings (Table 8)	22
Figure 3	– Representation of a specified TRV by a two-parameters reference line and a delay line.....	24
Figure 4	– Various stages of the striker travel.....	26
Figure 5	– Example of a two-parameters reference line for a TRV complying with the conditions of the type test	37
Figure 6	– Breaking tests – Arrangement of the equipment	40
Figure 7	– Breaking tests – Typical circuit diagram for Test Duties 1 and 2	41
Figure 8	– Breaking tests – Typical circuit diagram for Test Duty 3.....	41
Figure 9	– Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 1.....	42
Figure 10	– Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 2 (calibration traces as in a) of Figure 9).....	43
Figure 11	– Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 3.....	43
Figure 12	– Test sequence for switchgear type applications.....	52
Figure 13	– Test sequence for combined test for transformer type applications	54
Figure 14	– Test sequence for series a) test for transformer type applications.....	55
Figure 15	– Test sequence for series b) test for transformer type applications.....	56
Figure A.1	– Example of a two-parameters reference line for a TRV whose initial portion is concave towards the left	58
Figure A.2	– Example of a two-parameters reference line for an exponential TRV	58
Figure C.1	– Test tank for temperature-rise tests of oil-tight fuses.....	61
Figure C.2	– Details of clamping arrangement for fuse-link in the tank	61

Table 1 – Altitude correction factors – Test voltage and rated voltage.....	9
Table 2 – Altitude correction factors – Rated current and temperature rise	9
Table 3 – Rated voltages	17
Table 4 – Fuse-base rated insulation levels – Series I	18
Table 5 – Fuse-base rated insulation levels – Series II	18
Table 6 – Limits of temperature and temperature rise for components and materials	20
Table 7 – Maximum permissible switching voltages	21
Table 8 – Maximum permissible switching voltages for certain fuse-links of small current ratings	21
Table 9 – Standard values of rated TRV – Series I.....	23
Table 10 – Standard values of rated TRV – Series II.....	23
Table 11 – Mechanical characteristics of strikers	26
Table 12 – Electrical connection to the test circuit – Conductor sizes.....	32
Table 13 – Breaking tests – Parameters	36
Table 14 – TRV for Test Duty 2 – Series I.....	38
Table 15 – TRV for Test Duty 2 – Series II.....	38
Table 16 – Breaking test requirements for fuse-links of a homogeneous series.....	45

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.

This Consolidated version of IEC 60282-1 bears the edition number 7.1. It consists of the seventh edition (2009-10) [documents 32A/274/FDIS and 32A/277/RVD] and its amendment 1 (2014-07) [documents 32A/311/FDIS and 32A/312/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

This publication has been prepared for user convenience.

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

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

A list of all parts of IEC 60282 series, under the general title *High-voltage fuses*, can be found on the IEC website.

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

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

HIGH-VOLTAGE FUSES –

Part 1: Current-limiting fuses

1 General

1.1 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.

Some fuses are provided with fuse-links equipped with an indicating device or a striker. These fuses come within the scope of this standard, but the correct operation of the striker in combination with the tripping mechanism of the switching device is outside the scope of this standard; see IEC 62271-105.

1.2 Normative references

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

IEC 60060-1:1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60071-1:2006, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

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

IEC 60265-1:1998, *High-voltage switches – Part 1: Switches for rated voltages above 1 kV and less than 52 kV*

IEC 60549:1976, *High-voltage fuses for the external protection of shunt power capacitors*

IEC 60644:1979, *Specification for high-voltage fuse-links for motor circuit applications*

IEC/TR 60787:2007, *Application guide for the selection of high-voltage current-limiting fuse-links for transformer circuits*

IEC 62271-105:2002, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 105: Alternating current switch-fuse combinations*

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

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

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

2 Normal and special service conditions

2.1 Normal service conditions

Fuses complying with this standard 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 at the minimum and maximum temperatures.

- b) The altitude does not exceed 1 000 m.

NOTE 2 The rated voltages and insulation levels specified in this standard apply to fuses intended for use at altitudes not exceeding 1 000 m. When fuses incorporating external insulation are required for use at altitudes above 1 000 m, one or other of the following procedures should be adopted.

- a) The test voltages for insulating parts in air should be determined by multiplying the standard test voltages given in Tables 4 and 5 by the appropriate correction factor given in column (2) of Table 1.
- b) The fuses may be selected with a rated voltage which, when multiplied by the appropriate correction factor given in column (3) of Table 1 is not lower than the highest voltage of the system.

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

Table 1 – Altitude correction factors – Test voltage and rated voltage

Maximum altitude m (1)	Correction factor for test voltages referred to sea-level (2)	Correction factor for rated voltages (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.

NOTE 3 The rated current or the temperature rise specified in this standard can be corrected for altitudes exceeding 1 000 m by using the appropriate factors given in Table 2, columns (2) and (3) respectively. Use one correction factor from columns (2) or (3), but not both, for any one application.

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

Table 2 – Altitude correction factors – Rated current and temperature rise

Maximum altitude m (1)	Correction factor for rated current (2)	Correction factor for temperature rise (3)
1 000	1,0	1,0
1 500	0,99	0,98
3 000	0,96	0,92

- 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 guidance:
 - 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.

For these conditions, condensation may occasionally occur.

NOTE 4 Condensation can be expected where sudden temperature changes occur in periods of high humidity.

NOTE 5 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 may be used.

NOTE 6 Condensation may be 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 1,1 kW/m².

2.2 Other service conditions

Fuse-links intended for use at surrounding temperatures (see 3.3.11) above 40 °C are covered in this standard in Annex E.

2.3 Special service conditions

By agreement between the manufacturer and the user, high-voltage fuses may be used under conditions different from the normal service conditions given in 2.1. For any special service condition, the manufacturer shall be consulted.

2.4 Environmental behaviour

Fuses complying with this standard are inert devices during normal service. It is also a requirement of 5.1.3 that no significant external emission takes place. Therefore, they are regarded as environmentally safe devices in service and operation.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

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 Examples of rated values usually stated for fuses, voltage, current and breaking current.

[IEV 441-18-35 modified]

3.1.2

rating

set of rated values and operating conditions

[IEV 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 For the method to evaluate and to express the prospective current, see 6.6.2.1 and 6.6.2.2.

[IEV 441-17-01, modified]

3.1.4

prospective peak current

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

NOTE 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.

[IEV 441-17-02]

3.1.5

prospective breaking current

prospective current evaluated at a time corresponding to the instant of the initiation of the breaking process

NOTE For the fuses, this instant is usually defined as the moment of the initiation of the arc during the breaking process. Conventions relating to the instant of the initiation of the arc are given in 6.6.2.3.

[IEV 441-17-06]

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, 441-17-08, modified (modified definition 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 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.

[IEV 441-17-12, modified]

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

[IEV 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

[IEV 441-17-37, modified]

3.1.10

operating time

total clearing time

sum of the pre-arcing time and the arcing time

[IEV 441-18-22]

3.1.11

Joule integral

I^2t

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 The pre-arcing I^2t is the I^2t integral extended over the pre-arcing time of the fuse.

NOTE 2 The operating I^2t is the I^2t integral extended over the operating time of the fuse.

NOTE 3 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 $A^2 \times s$.

[IEV 441-18-23 modified]

3.1.12
virtual time

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

NOTE The values of virtual times usually stated for a fuse-link are the values of pre-arcing time and of operating time.

[IEV 441-18-37 modified]

3.1.13
time-current characteristic

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

[IEV 441-17-13]

3.1.14
cut-off (current) characteristic
let-through (current) characteristic

curve giving the cut-off current as a function of the r.m.s prospective current, under stated conditions of operation

NOTE The values of the cut-off currents are the maximum values that can be reached whatever the degree of asymmetry.

[SOURCE: IEC 60050-441, 441-17-14, modified (modified definition and Note to entry)]

3.1.15
recovery voltage

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

NOTE 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, 441-17-25, modified (modified definition and 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 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 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.

[IEV 441-17-26, modified]

3.1.17
power-frequency recovery voltage

recovery voltage after the transient voltage phenomena have subsided

[IEV 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 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.

[IEV 441-17-29, modified]

3.1.19
switching voltage

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

NOTE The switching voltage may be the arc voltage or may occur during the time of transient recovery voltage.
[IEV 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

[IEV 441-18-29]

3.1.21
power dissipation (in a fuse-link)

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

NOTE Prescribed conditions of use and behaviour usually include a constant r.m.s. value of current until steady temperature conditions are reached.

[IEV 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

3.2 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 in which it is inserted 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

[IEV 441-18-01]

3.2.2
terminal

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

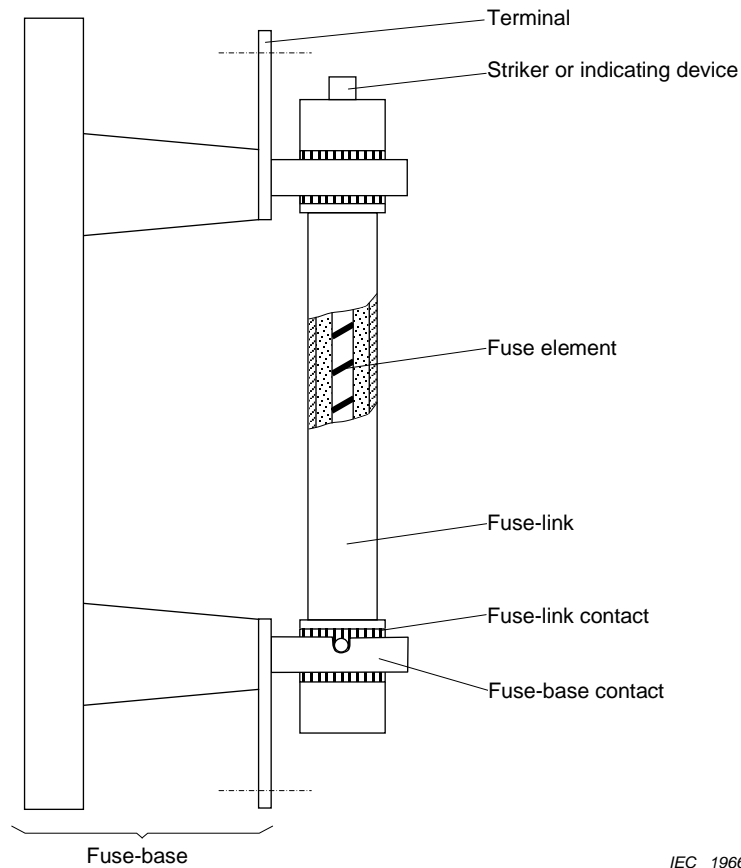
NOTE Terminals may be distinguished according to the kind of circuits for which they are intended (for example, main terminal, earth terminal, etc.), but also according to their design (for example, screw terminal, plug terminal, etc.).

3.2.3
fuse-base
fuse-mount

fixed part of a fuse provided with contacts and terminals

NOTE The fuse-base comprises all the parts necessary for insulation (see [Figure 1](#)).

[IEV 441-18-02]



IEC 1966/05

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](#))

[IEV 441-18-03, modified]

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](#))

[IEV 441-18-09]

3.2.6

fuse-link contact

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

[IEV 441-18-04, modified]

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](#))

[IEV 441-18-08]

3.2.8

**indicating device
indicator**

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

[IEV 441-18-17]

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

[IEV 441-18-18]

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

[IEV 441-18-10, modified]

3.3.2 classes

three classes of current-limiting fuses are defined according to the range in which they can be used:

- 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 6.6.1.1, 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

[IEV 411-18-06, modified]

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 6.6.4.1)

[IEV 441-18-34]

3.3.8

external insulation

distances in atmospheric air and 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 external conditions such as pollution, humidity, vermin, etc.

[IEV 604-03-02, modified]

3.3.9

self-restoring insulation

insulation which completely recovers its insulating properties after a disruptive discharge

[IEV 604-03-04]

3.3.10

organic fuse-link

a 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. 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

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

4 Ratings and characteristics

4.1 General

- a) Ratings of the fuse-base
 - 1) Rated voltage (4.2)
 - 2) Rated current (4.5)
 - 3) Rated insulation level (power-frequency, dry, wet and impulse withstand voltages) (4.3)
- b) Ratings of the fuse-link
 - 1) Rated voltage (4.2)
 - 2) Rated current (4.6)
 - 3) Rated maximum breaking current (4.8.1)
 - 4) Rated frequency (4.4)
 - 5) Rated minimum breaking current for Back-Up fuses (4.8.2)
 - 6) Rated TRV (4.10)
- c) Characteristics of the fuse
 - 1) Temperature rise limits (4.7)
- d) Characteristics of the fuse-link
 - 1) Class (3.3.2 and 4.8.2)
 - 2) Switching voltages (4.9)
 - 3) Time-current characteristics (4.11)
 - 4) Cut-off characteristics (4.12)
 - 5) I^2t characteristics (4.13)
 - 6) Mechanical characteristics of the strikers (4.14)
 - 7) Maximum application temperature (see Annex E).

4.2 Rated voltage (U_r)

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

NOTE 1 This rated voltage represents the highest voltage for equipment (see IEC 60038).

NOTE 2 On three-phase solidly earthed systems, fuses may only be used provided that the highest system voltage is less than or equal to their rated voltage. On single phase or non-solidly earthed systems, fuses may only be used provided that the highest system voltage is less than or equal to 87 % of their rated voltage, unless specific testing has been performed (see IEC/TR 62655:2013, 5.1.3).

The rated voltage of a fuse should be selected from the voltages given in [Table 3](#).

Table 3 – Rated voltages

Series I kV	Series II kV
3,6	2,75
7,2	5,5
12	8,25
17,5	15
24	15,5
36	25,8
40,5	38
52	48,3
72,5	72,5

4.3 Rated insulation level (of a fuse-base)

The voltage values (both power frequency and impulse) that characterise the insulation of the fuse-base with regard to its capability of withstanding dielectric stresses (see IEC/TR 62655:2013, 4.5).

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 [Tables 4](#) and [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 U.S.A. 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 kV (peak)		List 2 kV (peak)		(dry and wet) kV (r.m.s.)	
	To earth and between poles	Across the isolating distance of the fuse-base (see note)	To earth and between poles	Across the isolating distance of the fuse-base (see note)	To earth and between poles	Across the isolating distance of the fuse-base (see note)
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

NOTE 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) kV (peak)				Rated power-frequency withstand voltage kV (r.m.s.)					
	To earth and between poles		Across the isolating distance of the fuse-base (see note)		To earth and between poles			Across the isolating distance of the fuse-base (see note)		
	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
2,75	45	–	50	–	15	–	–	17	–	–
4,76	60	–	70	–	19	–	–	21	–	–
8,25	75	95	80	105	26	35	30	29	39	33
15	95	–	105	–	36	–	–	40	–	–
15,5	110	110	125	125	50	50	45	55	55	50
25,8	125	150	140	165	60	70	60	66	77	66
38	150	200	165	220	80	95	80	88	105	88
48,3	–	250	–	275	–	120	100	–	132	110
72,5	–	350	–	385	–	175	145	–	195	160

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

4.4 Rated frequency

Standard values of rated frequency are 50 Hz and 60 Hz.

4.5 Rated current of the fuse-base

The current assigned to a fuse-base that a new clean fuse-base will carry continuously without exceeding specified temperature rises, when equipped with a fuse-link of the same current rating designed to be used in the particular fuse-base connected to the circuit with certain specified conductor sizes and lengths, at an ambient air temperature of not more than 40 °C.

The rated current of the 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.

4.6 Rated current of the fuse-link (I_r)

The current assigned to the 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.

4.7 Temperature-rise limits

The fuse-link and the fuse-base shall be able to carry their rated current continuously without exceeding the limits of temperature rise given in [Table 6](#) and without deterioration.

NOTE 1 For fuses used in enclosures, see 6.5.3, and IEC/TR 62655:2013, 5.1.1.2 and Annex A.

NOTE 2 Therefore where the term "oil" is used in this standard, any appropriate insulating liquid is covered. Appropriate insulating liquids are those approved by the fuse manufacturer.

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

- a) for bolted contacts and terminals, those of the component having the highest values permitted in [Table 6](#);
- b) for spring-loaded contacts, those of the component having the lowest values permitted in [Table 6](#).

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 coatings (footnote 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 coatings (footnote a)		
B Contacts in oil (copper or copper alloy):		
1 Spring-loaded contacts		
– bare	80	40
– silver-, tin- or nickel-coated	90	50
– other coatings (footnote a)		
2 Bolted contacts		
– bare	80	40
– silver-, tin- or nickel-coated	100	60
– other coatings (footnote a)		
C Bolted terminals in air:		
– bare	90	50
– silver-, nickel- or tin-coated	105	65
– other coatings (footnote a)		
D Metal parts acting as springs (footnote b)		
E Materials used as insulation and metal parts in contact with insulation of following classes (footnote c):		
Class Y (for non-impregnated materials)	90	50
Class A (for materials immersed in oil)	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 (footnote d)		
F Oil (footnotes e and f)		
	90	50
G Any part of metal or of insulating material in contact with oil except contacts and springs		
	100	60
<p>a If the manufacturer uses coatings other than those indicated in Table 6, the properties of these materials should be taken into consideration.</p> <p>b The temperature or the temperature rise should not reach such a value that the elasticity of the metal is impaired.</p> <p>c Classes according to IEC 60085.</p> <p>d Limited only by the requirement not to cause any damage to surrounding parts.</p> <p>e At the upper part of the oil.</p> <p>f Special consideration should be given with regard to vaporisation and oxidation when low-flash-point oil is used. The given temperature value may be exceeded for transformer-type applications and/or if synthetic or other suitable insulating liquids are used (see 7.7.3 and IEC 60076-7).</p>		

4.8 Rated breaking capacity

4.8.1 Rated maximum breaking current (I_1)

The rated maximum breaking current in kA of the 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.

4.8.2 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.

4.9 Limits of switching voltage

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

On request, the manufacturer shall indicate the maximum value of the switching voltages as determined in the breaking tests (see 6.6).

Table 7 – Maximum permissible switching voltages

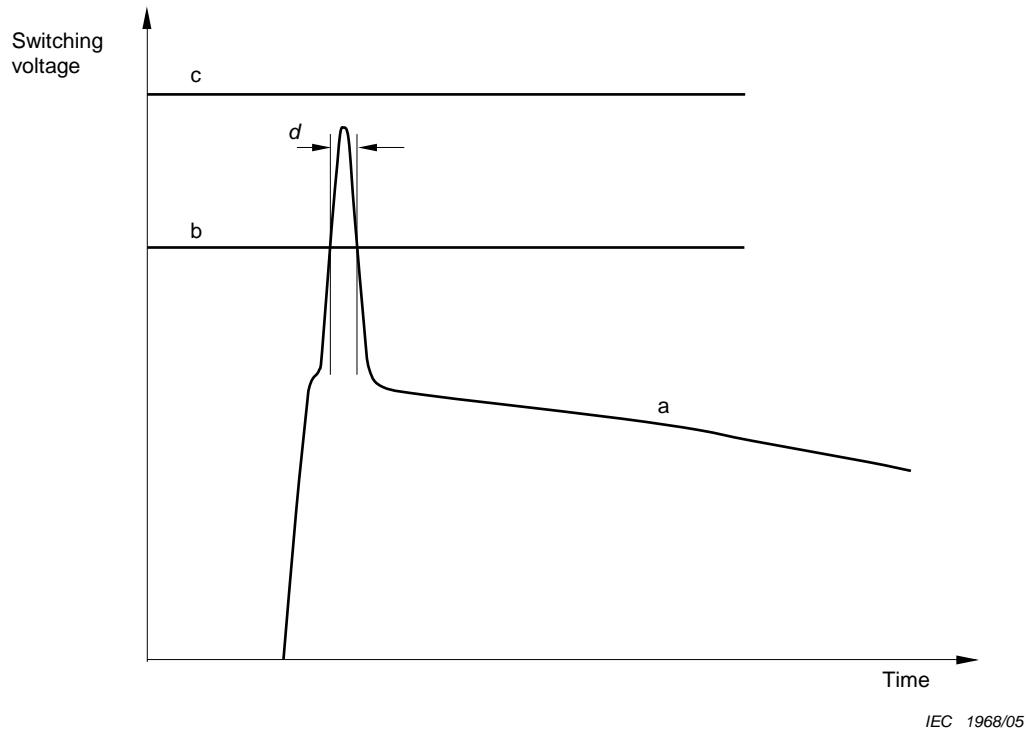
Series I		Series II	
Rated voltage kV	Maximum switching voltage kV	Rated voltage kV	Maximum switching voltage kV
3,6	12	2,75	8
7,2	23	5,5	18
12	38	8,25	26
17,5	55	15	47
24	75	15,5	49
36	112	22	70
40,5	126	25,8	81
52	162	27	84
72,5	226	38	119
		48,3	150
		72,5	226

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

Series I up to and including 3,2 A		Series II up to and including 12 A	
Rated voltage kV	Maximum switching voltage (footnotes a and b) kV	Rated voltage kV	Maximum switching voltage (footnote b) kV
36,6	26	2,75	13
7,2	36	5,5	25
12	50	8,25	38
17,5	63	15	68
24	85	15,5	70
3	120	22 to 25,8	117
		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 4.3).

^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)

4.10 Rated transient recovery voltage (rated TRV)

4.10.1 General

The rated transient recovery voltage related to the rated maximum breaking current (in accordance with 4.8) is the reference voltage which constitutes the upper limit of the prospective transient recovery voltage of circuits which the fuse shall be capable of breaking in the event of a short circuit.

Standard values of rated TRV are specified in Tables 9 and 10. These values apply to the rated maximum breaking current of a fuse.

Table 9 – Standard values of rated TRV – Series I

Rated voltage	Basic parameters		Derived values			
	Peak voltage	Time coordinate	Time delay ^a	Voltage coordinate ^b	Time coordinate ^c	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	0,74

^a $t_d = 0,15 t_3$ for $U_r \leq 52$ kV
and $t_d = 0,05 t_3$ for $U_r > 52$ kV

^b $u' = 1/3 u_c$ with $u_c = 1,4 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

^c $t' = (0,15 + 1/3) t_3$ for $U_r \leq 52$ kV
and $t' = (0,05 + 1/3) t_3$ for $U_r > 52$ kV

Table 10 – Standard values of rated TRV – Series II

Rated voltage	Basic parameters		Derived values			
	Peak voltage	Time coordinate	Time delay (footnote a)	Voltage coordinate (footnote b)	Time coordinate (footnote c)	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
2,75	4,7	37	5,5	1,6	18,1	0,127
5,5	9,4	46	6,9	3,1	22,2	0,204
8,25	14,4	54	8,1	4,8	26,1	0,266
15	25,7	66	9,9	8,6	32,0	0,390
15,5	26,6	67	10,0	8,8	32,2	0,400
25,8	44	91	13,6	14,7	44,0	0,48
38	65	111	16,6	21,7	53,6	0,58
48,3	83	127	19,0	27,6	61,2	0,65
72,5	124	168	8,4	41,5	64	0,74

^a $t_d = 0,15 t_3$ for $U_r \leq 48,3$ kV
and $t_d = 0,05 t_3$ for $U_r > 48,3$ kV

^b $u' = 1/3 u_c$ with $u_c = 1,4 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

^c $t' = (0,15 + 1/3) t_3$ 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 or where fuses are for use in an installation having more severe conditions, the values shall be subject to agreement between manufacturer and user.

The rated transient recovery voltage corresponding to the rated maximum breaking current is used for testing at breaking currents equal to the rated value with the permitted deviation given in 6.6.1.2.2. For testing at breaking current less than the rated value, other values of transient recovery voltage are specified (see 6.6.1.2.3).

4.10.2 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 standard, the transient recovery voltage approximates to a damped single-frequency oscillation. This waveform is adequately described by an envelope consisting of two line segments defined by means of two parameters (reference line) (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.

This representation applies both to rated and to other specified transient recovery voltages which are represented by two parameter reference lines together with delay lines.

4.10.3 Representation of rated TRV

The following parameters are used for the representation of the rated TRV (see Figure 3):

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

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').

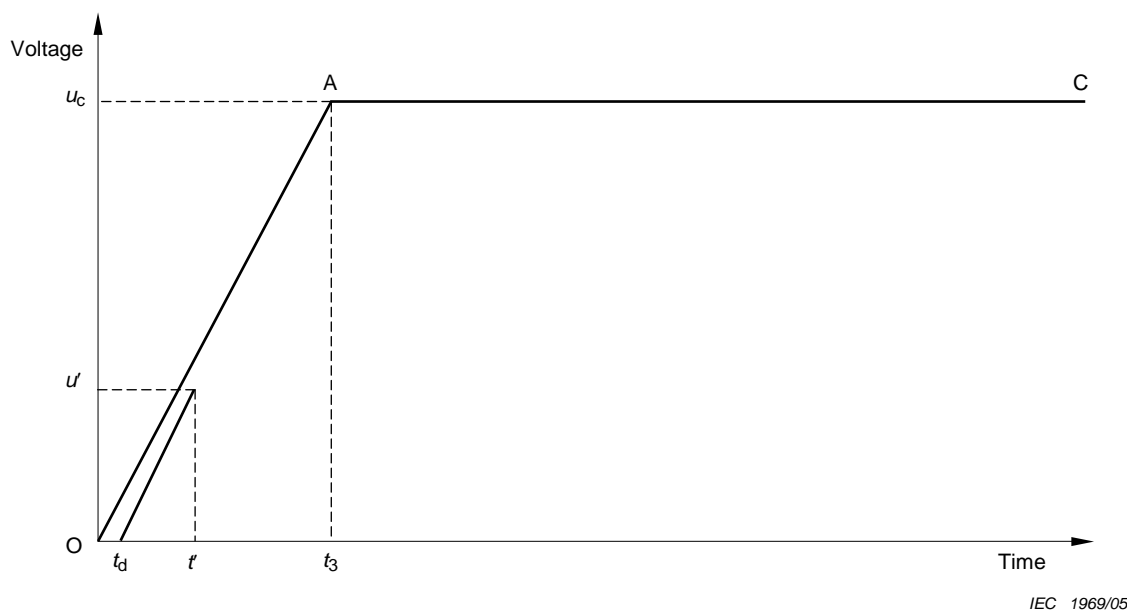


Figure 3 – Representation of a specified TRV by a two-parameters reference line and a delay line

4.11 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 conductor sizes and lengths as specified in 6.5.1.2.

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 6.7.2.

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.

NOTE It is recommended that the values 2,8 and 5,6 be used 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 rating of the fuse-link to which the curve data apply;
- the time range as specified in 6.7.2.2. 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.

For the purpose of coordination between fuses or between fuses and other protective devices, the relevant time-current characteristics may be employed for periods down to 0,1 s.

Where higher fault levels result in fuse operation in times less than 0,1 s, the relevant pre-arcing I^2t and operating I^2t data (see notes 1 and 2 of 3.1.11) may be used.

4.12 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 6.6.

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

4.13 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 standard, 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.

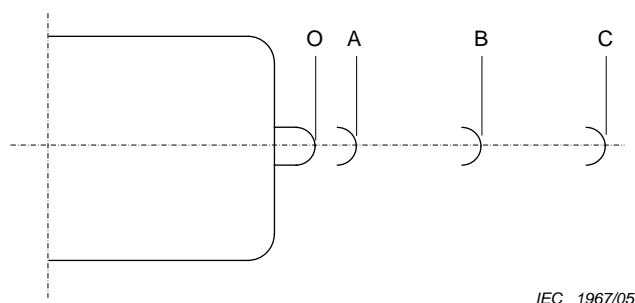
The presentation of I^2t values may be in simple tabular or diagrammatic form (for example, histograms) or may employ graphical presentation with prospective current as abscissa and I^2t as ordinate, both scales being logarithmic with preferred dimensions as in 4.12.

The I^2t values determined as a part of the breaking type tests specified in 6.6 shall not be greater (for operating I^2t) or less (for pre-arcing I^2t) than the values stated by the manufacturer.

4.14 Mechanical characteristics of strikers

Strikers may be 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 4) of their travel and 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.

The mechanical characteristics of the strikers are given in Table 11.



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 4 – Various stages of the striker travel

Table 11 – Mechanical characteristics of strikers

Type	Energy	Mechanical characteristics					
		Values of		Actual travel		Minimum withstand force	Maximum duration of travel
		Free travel (OA) (footnote a)	Further travel during which energy must be delivered (AB) (footnote a)	Min. (OB) (footnote a)	Max. (OC) (footnote 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 4.

^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 (4.15.3) is sufficient to cover this 50 ms plus an additional time of 50 ms to allow for the switching device operating time.

4.15 Special requirement for Back-Up fuses intended for use in switch-fuse combination according to IEC 62271-105

4.15.1 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 5.1.3) at currents just below fuse minimum breaking current is longer in duration than the tripping time of the associated switch.

4.15.2 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.

Procedure to define these temperature and current values is given in 7.6.2. In the case of homogeneous series, it is sufficient to perform the test on the fuse having the highest current rating.

4.15.3 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. Testing procedure is described in 7.6.3.

5 Design, construction and performance

5.1 General requirements with respect to fuse operation

5.1.1 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 6.6 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).

5.1.2 Standard conditions of use

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

- the a.c. component of current is not higher than the rated maximum breaking current;
- the a.c. 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;
- the surrounding temperature is not higher than the maximum application temperature (MAT) in the case of a Full-Range fuse that has an assigned MAT (with no low current restriction);
- 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;
- 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, 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;

NOTE 1 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).

- the highest system voltage is not greater than 87 % of the rated voltage of the fuse-link, if used on a single-phase system;

NOTE 2 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).

- the prospective transient recovery voltage is within the limits represented by the tests specified in 6.6.1.2;
- the frequency is between 48 Hz and 62 Hz;
- the power factor is not lower than specified in Table 13;
- 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 6.6.1.2.

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 6.6.1.2.2).

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

5.1.3 Standard conditions of behaviour

According to the conditions of use indicated in 5.1.2, the behaviour of the fuse shall be as follows.

- a) A powder-filled fuse-link shall not emit flame or powder, 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 4.14 and shall operate fully.
- d) Operation shall not generate switching voltages higher than the values specified in 4.9.
- 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.

5.2 Identifying markings

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

NOTE 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;
 - 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).

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 oil, unless this information is included in the type designation or identification code.

5.3 Dimensions

Annex D contains a collection and classification of types and dimensions specified in the various existing national standards.

6 Type tests

6.1 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 or under special specified 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 are valid for fuse-links without strikers.

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 standard 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.

6.2 List of type tests

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

- dielectric tests (fuse-base only);

- temperature-rise tests and power-dissipation measurement;
- breaking tests;
- tests for time-current characteristics;
- tests of strikers.

6.3 Common test practices for all type tests

6.3.1 General

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

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

6.3.2 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 and oil-tightness 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.

6.3.3 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.

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

6.4 Dielectric tests

6.4.1 Test practices

Dielectric test practices shall be as specified in 6.3 and as follows.

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

6.4.1.1 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.

6.4.1.2 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.

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

The test voltage specified in Tables 4 and 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.

NOTE 1 For multi-pole arrangements of fuses

- 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.

NOTE 2 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.

6.4.3 Atmospheric conditions during test

The test shall be made at atmospheric conditions as near as possible to the standard conditions specified in 11.1 of IEC 60060-1.

The correction factors for air density and for air humidity, as given in 11.2.1 and 11.2.2 of IEC 60060-1, may be used for fuses pending further information.

6.4.4 Lightning impulse voltage dry tests

Fuses shall be subjected to lightning impulse voltage dry tests with 1,2/50 impulses in accordance with Section 6 of IEC 60060-1.

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

- at the rated withstand voltage to earth and between poles for all the test conditions a) of 6.4.2;
- at the rated withstand voltage to earth and between poles for the test condition b) of 6.4.2 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 6.4.2 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 (see 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.

6.4.5 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 Tables 4 and 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 a) of 6.4.2;
- at the rated withstand voltage to earth and between poles for the test conditions b) of 6.4.2 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 6.4.2 if isolating properties are assigned to the fuse-base.

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

6.4.6 Power-frequency wet tests

Outdoor type fuses shall be subjected to power-frequency voltage wet tests under the same conditions as specified in 6.4.5 except for the duration, which is 1 min. 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 Clause 9 of IEC 60060-1.

6.5 Temperature-rise tests and power-dissipation measurement

6.5.1 Test practices

Temperature-rise tests and power-dissipation measurement shall be made as specified in 6.3 on one fuse and as follows.

6.5.1.1 Test sample

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

The fuse-link shall be of the highest current-rating for use in the fuse-base.

6.5.1.2 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 in the most unfavourable position within the instructions specified by the manufacturer and connected to the test circuit by bare copper conductors as follows: each conductor shall be approximately 1 m (3 ¼ ft) 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 12](#).

Table 12 – Electrical connection to the test circuit – Conductor sizes

Current rating of the fuse-link (footnote a) A		Size of bare copper conductors (footnote 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	1000	From 800 to 1 000
<p>^a For fuse-links in parallel, the current rating to be considered is the total current assigned by the manufacturer.</p> <p>^b The equivalent area in MCM (thousands of circular mils) can be obtained by multiplying the numbers in mm² by two.</p>		

Oil-tight fuse-links for use in switchgear shall be tested in an oil-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 oil 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 12](#).

Normal clearances need not be provided.

Tests shall be made with the rated current of the fuse-link and at a frequency between 48 Hz and 62 Hz. 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 Clause 4.

6.5.2 Measurement of temperature

6.5.2.1 Temperature of fuse parts

The temperature of the various parts for which limits are specified shall be determined by devices such as thermocouples, thermometers 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).

For measurement with thermometers or thermocouples, the following precautions shall be taken.

- a) The bulbs of the thermometers or thermocouples shall be protected against cooling from outside (dry, clean wool, etc.). The protection area shall, however, be negligible compared to the cooling area of the apparatus under test.
- b) Good heat conductivity between the thermometer or thermocouple and the surface of the part under test shall be ensured.
- c) When bulb thermometers are employed in places where there is a varying magnetic field, it is recommended that alcohol thermometers be used in preference to mercury thermometers, as the latter are more liable to be influenced under these conditions.

6.5.2.2 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 means of at least three thermometers, thermocouples or other temperature-detecting devices equally distributed around the fuse at about the average height of its current-carrying parts at a distance of about 1 m from the fuse. 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.

6.5.3 Measurement of power dissipation

Fuses intended for use in enclosures may require derating (see IEC/TR 62655:2013, 5.1.1.2 and Annex A). To facilitate this derating, measurement of the power dissipation shall be made as follows.

- a) The measurement of power dissipation can 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 power dissipation (the temperature) has reached a steady-state value for the current value considered. The power dissipation is expressed in watts.

NOTE This requirement applies only to fuses intended for use in enclosures. For other fuses, see 7.1 and 7.3.

- b) Switchgear manufacturers and users who incorporate fuses into their equipment may 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.

6.6 Breaking tests

6.6.1 Test practices

Breaking test practices shall be as specified in 6.3 and as follows.

6.6.1.1 Description of tests to be made

Tests shall be made according to the instructions given in [Table 13](#) 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 below).

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 6.6.1.3).

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 in assessing compliance with this requirement are discussed in Annex G.

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 r.m.s. values of the a.c. component of the current.

If, in making 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 13](#)) except 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 6.6.4 for the requirements to be met and tests to be made.

A homogeneous series 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 6.6.5 for the requirements to be met.

NOTE As a guide, the value of the current I_2 needed to comply with this requirement may be determined by one or other of the following methods.

- 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:

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

where

I_2 is the prospective current for Test Duty 2;

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) By taking between three and four times the current which corresponds to a pre-arcing time of one half-cycle on the time-current characteristic (see 6.7 and 4.11). If a time-current characteristic curve exists for virtual times less than one half-cycle, it is preferable to use the current corresponding on this time-current characteristic to a time of 0,08 normal half-cycle.

Table 13 – Breaking tests – Parameters

Parameters	Test duties		
	1 (footnote a)	2	3
Power-frequency recovery voltage	(0,87 × rated voltage) $\begin{matrix} +5 \\ 0 \end{matrix}$ %		Rated voltage $\begin{matrix} +5 \\ 0 \end{matrix}$ %
Prospective TRV characteristics	See 6.6.1.2		Not specified
Power factor	From 0,07 to 0,15 (footnote b)		0,4 to 0,6
Prospective current (r.m.s. value of the a.c. component)	$I_1 \begin{matrix} +5 \\ 0 \end{matrix}$ %	I_2	$I_3 \begin{matrix} 0 \\ -10 \end{matrix}$ % (footnote c)
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
Initiation of arcing after voltage zero	<i>For one test:</i> From 40° to 65° <i>For two tests:</i> 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 (footnote d)	
Number of tests	3	3	2
<p>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.</p> <p>b When the manufacturer agrees, the lower limit does not apply.</p> <p>c 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.</p> <p>d 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.</p>			

6.6.1.2 Characteristics of the test circuit

6.6.1.2.1 General

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 Figures 7 and 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. Where some distortion is unavoidable, it

shall not be such as to necessitate the open-circuit voltage to be more than 107 % of the voltage corresponding to the required recovery voltage on Test Duties 1 and 2, as specified in 6.6.1.1.

A measuring system with appropriate frequency response shall be provided for switching voltage measurement during Test Duties 1, 2 and t_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 spark-over occurs during the normal interrupting operation of the fuse, since a parallel path through protective equipment may reduce the duty on the fuse.

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.

NOTE 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 6.1).

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.

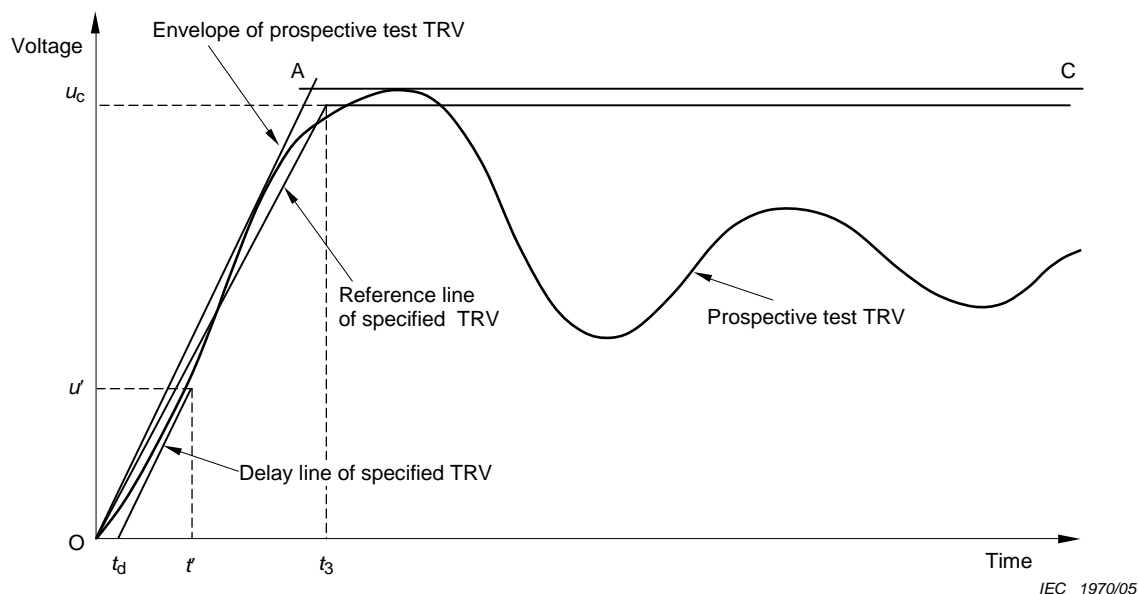


Figure 5 – Example of a two-parameters reference line for a TRV complying with the conditions of the type test

6.6.1.2.2 TRV for Test Duty 1

In principle, the tests are made with the standardised values of TRV specified in 4.10. 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 4.10

and an initial portion not crossing the specified delay line. All the tests of Test Duty 1 shall be made in this new circuit.

6.6.1.2.3 TRV for Test Duty 2

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

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

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

NOTE 1 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).

NOTE 2 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 voltage	Basic parameters		Rate of rise
	Peak voltage	Time coordinate	
U_r	u_c (footnote a)	t_3	u_c/t_3
kV	kV	μs	kV/ μs
3,6	6,6	120 – 160	0,055 – 0,041
7,2	13,2	156 – 208	0,084 – 0,063
12	22	180 – 240	0,122 – 0,091
17,5	32	216 – 288	0,148 – 0,111
24	44	264 – 352	0,167 – 0,125
36	66	324 – 432	0,203 – 0,152
40,5	74	345 – 460	0,214 – 0,160
52	96	396 – 528	0,242 – 0,181
72,5	133	504 – 672	0,265 – 0,199

^a $u_c = 1,5 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

Table 15 – TRV for Test Duty 2 – Series II

Rated voltage	Basic parameters		Rate of rise
	Peak voltage	Time coordinate	
U_r	u_c (footnote a)	t_3	u_c/t_3
kV	kV	μs	kV/ μs
2,75	5	111 – 148	0,045 – 0,033
5,5	10	138 – 184	0,072 – 0,054
8,25	15,4	162 – 216	0,095 – 0,071
15	27,5	198 – 264	0,138 – 0,104
15,5	28,4	201 – 268	0,141 – 0,106
25,8	47	273 – 364	0,172 – 0,129
38	69,5	333 – 444	0,208 – 0,156
48,3	89	381 – 508	0,233 – 0,175
72,5	133	504 – 672	0,265 – 0,199

^a $u_c = 1,5 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

6.6.1.2.4 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.

6.6.1.3 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 13](#) 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 the rated current I_r ;
 - 0,2 to 0,3 lagging if the cross-over current I_t is between 25 times the 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 in assessing compliance with this requirement are discussed in Annex G.

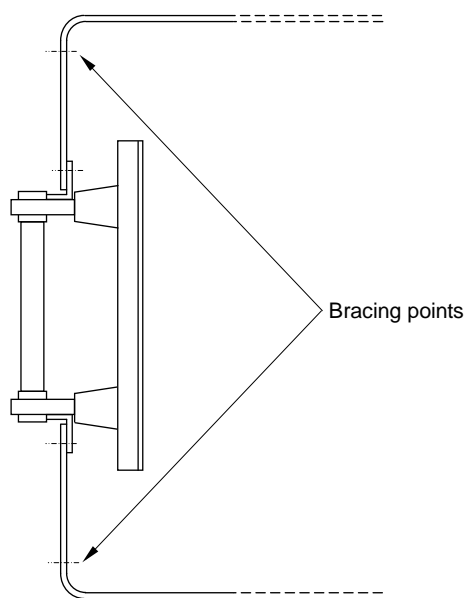
6.6.1.4 Test samples

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

6.6.1.5 Arrangement of the equipment

6.6.1.5.1 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.



IEC 1971/05

Figure 6 – Breaking tests – Arrangement of the equipment

6.6.1.5.2 Fuses intended for use in oil-filled enclosures

Test Duties 1, 2, 3, and I_t may be performed in air or in an oil-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 an oil-filled enclosure, using an arrangement of test conductors suitable for that enclosure. The oil-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.

6.6.2 Test procedure

6.6.2.1 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 Figures 7 and 8.

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

NOTE 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.

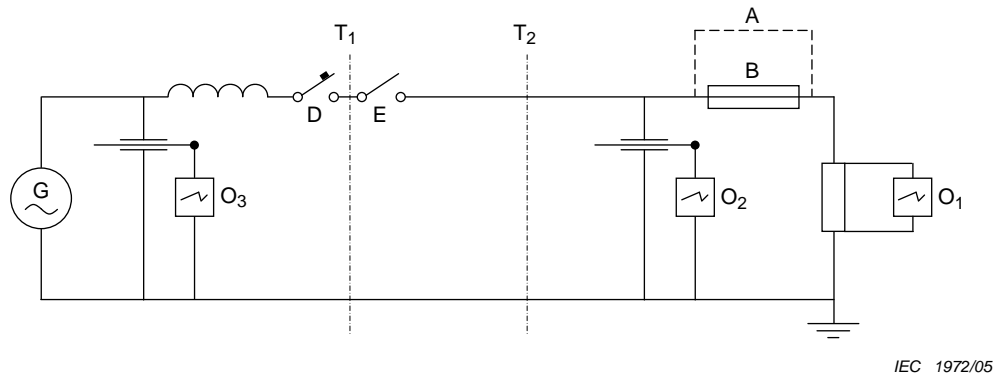
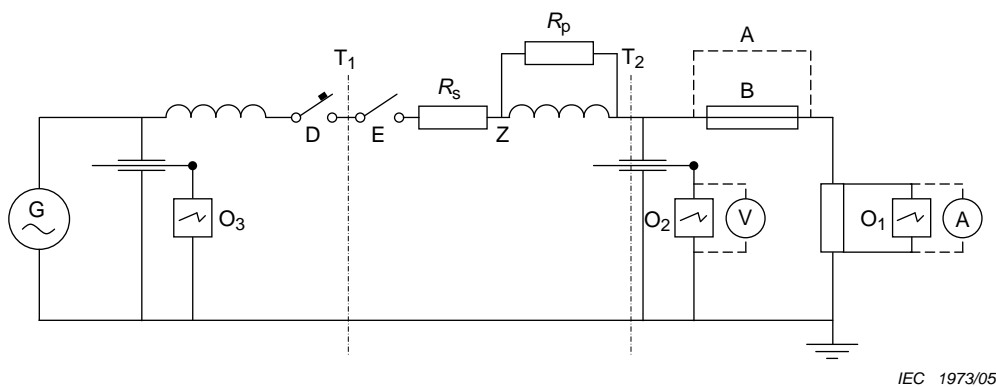


Figure 7 – Breaking tests – Typical circuit diagram for Test Duties 1 and 2



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 – 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

6.6.2.2 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 13.

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, current may be measured by an ammeter as an alternative or an addition to an oscillograph or similar measuring system.

After the fuse has operated, recovery voltage shall be maintained across the fuse for the period specified in Table 13. The first few cycles shall be recorded by an oscillograph or similar system and the remainder may be observed on a voltmeter.

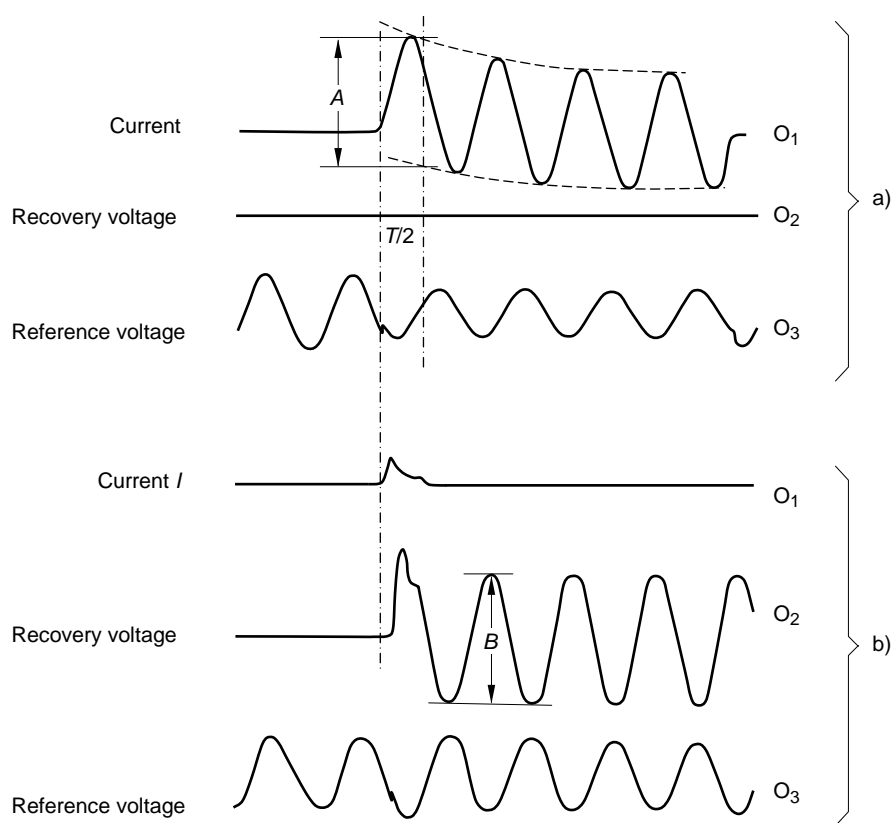
During this period, the power frequency may fall below the specified minimum value.

6.6.2.3 Interpretation of oscillograms

For Test Duties 1 and 2, the prospective breaking current shall be the r.m.s. value of the a.c. component of the current, measured one half-cycle after the initiation of short circuit in the calibration test (see Figures 9 and 10).

For Test Duty 3 and I_t tests, the breaking current shall be the r.m.s. 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 Figures 9, 10 and 11).



IEC 1974/05

Key

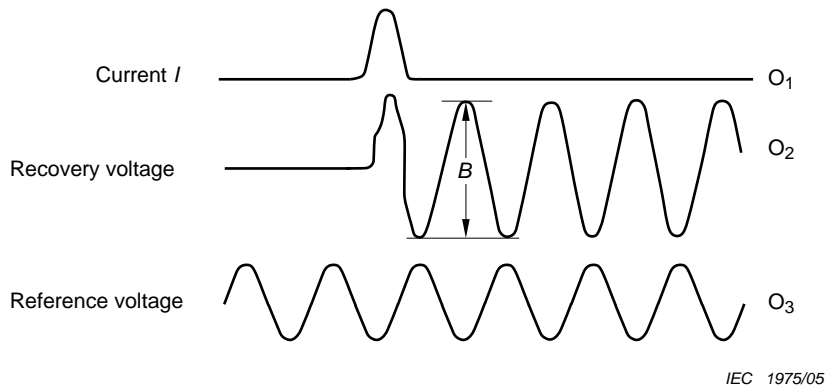
- O₁ Current measurement
- O₂ Recovery voltage measurement
- O₃ Reference voltage measurement
- a) Calibration test
- b) Breaking test

$$\text{RMS value of the a.c. component of prospective breaking current } I = \frac{A}{2\sqrt{2}}$$

$$\text{Recovery voltage } U = \frac{B}{2\sqrt{2}}$$

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

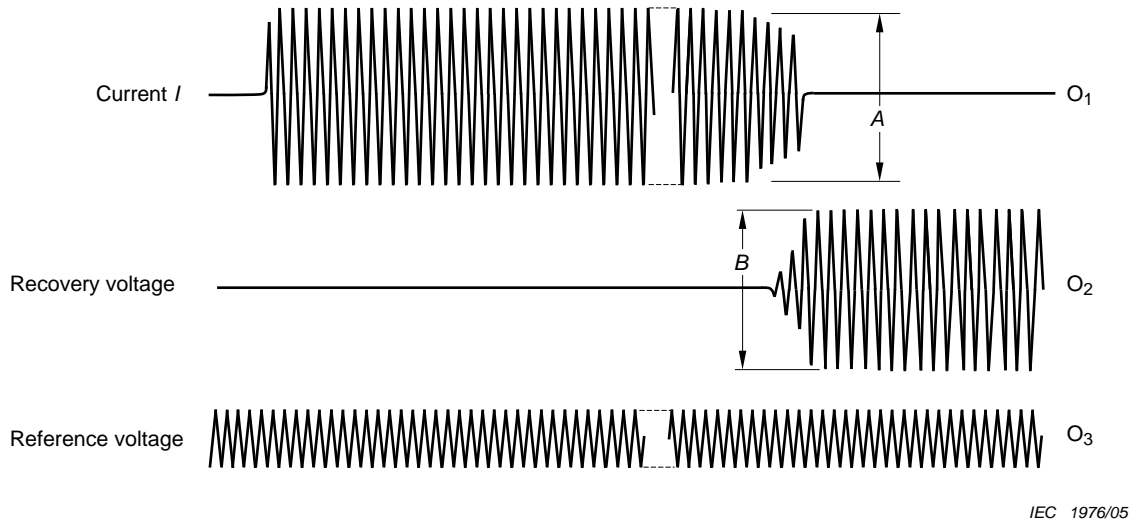
Figure 9 – Breaking tests – Interpretation of oscillograms for Test Duty 1



Key

- 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

6.6.2.4 Parameters to be used for tests

The parameters to be used when making the tests are given in [Table 13](#).

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

6.6.3 Alternative test methods for Test Duty 3

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 must occur before arcing commences.

6.6.3.1 Circuit requirements

Circuit requirements are as follows.

- a) 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.
- b) A high-voltage source as described in 6.6.1.2.

The value of the high-voltage current is the current I_3 as defined in 6.6.1.1.

- c) 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.

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 6.6.3.2).

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.

6.6.3.2 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.

6.6.4 Breaking tests for fuse-links of a homogeneous series

6.6.4.1 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 monotonous² 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.

6.6.4.2 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 (footnote a)	X (footnote c)		X
3 (footnote b)	X (footnote d)	X (footnote 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 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.
^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;

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

s: cross-section of each individual fuse element.

6.6.4.3 Interpretation of breaking tests

If the results of tests made according to Table 16 meet the requirements of 5.1.3, any current rating of fuse-links within the homogeneous series shall be deemed to comply with the breaking requirements of this specification.

If a fuse-link does not perform satisfactorily according to 5.1.3 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 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.

6.6.5 Acceptance of a homogeneous series of 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.

6.6.6 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 made in accordance with 6.6.2 and 6.6.4 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 6.6.4.1 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.

6.7 Tests for time-current characteristics

6.7.1 Test practices

Time-current test practices shall be as specified in 6.3 and as follows.

6.7.1.1 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.

6.7.1.2 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 6.5.1.2), or for the breaking tests (see 6.6.1.5).

6.7.2 Test procedures

Time-current tests shall be conducted as follows.

6.7.2.1 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 held to an essentially constant value.

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

6.7.2.2 Time range

Tests shall be made in the following time ranges:

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

6.7.2.3 Measurement of current

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

6.7.2.4 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.

6.8 Tests of strikers

6.8.1 General

These tests are intended to verify that the striker is able to deliver the energy specified in [Table 11](#) even under service conditions that involve low values of current or voltage. The tests in 6.8.3 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 6.8.4.1). 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 11](#)) shall be tested after the operation tests.

6.8.2 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.

6.8.3 Operation tests

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.

NOTE This preparatory part of the specified operation tests may not be appropriate for strikers with additional thermal relay. Premature thermal tripping of the striker may prevent the proper continuation of the test as specified. Appropriate test requirements to cover this case are not yet specified.

Tests a) and b) shall then be made without undue delay on these fuse-links with melted main fuse elements:

Test a): Test current: ≤ 10 A
Test voltage: not specified

Test b): Test voltage: $\leq 0,075 U_r$
Test current: not specified

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.

6.8.4 Test performance

6.8.4.1 General

For tests a) and b) the striker travel, energy output during the actual travel and withstand force shall be within the limits specified in [Table 11](#).

For test b) the duration of travel shall be measured and shall not exceed the value specified in [Table 11](#).

6.8.4.2 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 4](#) shall be measured for one sample and the energy calculated from the following formula:

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

where F_A and F_B are expressed in newtons and AB in millimetres.

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.

When the energy is measured by means of a pendulum, this measurement shall be made during the operation test a) 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. 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.

6.8.4.3 Test of withstand force

For heavy and medium strikers, the minimum withstand force shall be tested on three samples after the operation tests 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 4](#)).

6.9 Electromagnetic compatibility (EMC)

Fuses within the scope of this standard 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 [Tables 7](#) and [8](#) of this standard, no other tests for electromagnetic compatibility are required.

7 Special tests

7.1 General

Special tests are made to check whether a type or particular design of fuse corresponds to the characteristics specified and behaves satisfactorily under special specified conditions. They are made on samples to check the specified characteristics of all fuses of the same type.

These tests shall be repeated only if the construction 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 6.3 and as follows.

7.2 List of special tests

The following tests are to be made after agreement between manufacturer and user for certain types of fuses or for special applications:

- thermal shock test (for fuses intended to be used outdoors);
- power dissipation test for fuses not intended for use in enclosures (other fuses have this test as a type test);
- waterproof test (ingress of moisture) for fuses intended to be used outdoors;
- pre-arcing temperature rise test for Back-Up fuses for use in switch-fuse combinations;
- arcing duration withstand test for Back-Up fuses for use in switch-fuse combinations.
- oil tightness test.

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

7.3 Thermal shock tests

7.3.1 Test sample

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

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

7.3.2 Arrangement of the equipment

The fuse shall be mounted within the instructions specified by the manufacturer and connected to the test circuit by bare copper conductors having sizes as specified in [Table 12](#).

7.3.3 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.

7.4 Power-dissipation tests for fuses not intended for use in enclosures

These tests shall be made under the conditions specified in 6.5.

7.5 Waterproof test (ingress of moisture)

7.5.1 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.

7.5.2 Test sample

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

7.5.3 Test method

Each test sample (at room temperature between 15 °C and 35 °C) shall be submerged for a time of 5_{-1}^{+0} 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.

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

7.6.1 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.

7.6.2 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 6.5, 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 pre-melting 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 must remain physically intact and undamaged as defined in 5.1.3.

7.6.3 Arcing duration withstand test

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 6.6. of this standard, 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 6.6 of this standard for Test Duty 3 except for 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 operates before arcing can occur, then the arcing duration test is not required.

7.7 Insulating liquid-tightness tests

7.7.1 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 (7.7.2) is intended for applications in which the primary source of heat in an enclosure is the fuse itself (for example switchgear). The second method (7.7.3) 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 recognized 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.

7.7.2 Liquid-tightness tests for switchgear type applications

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

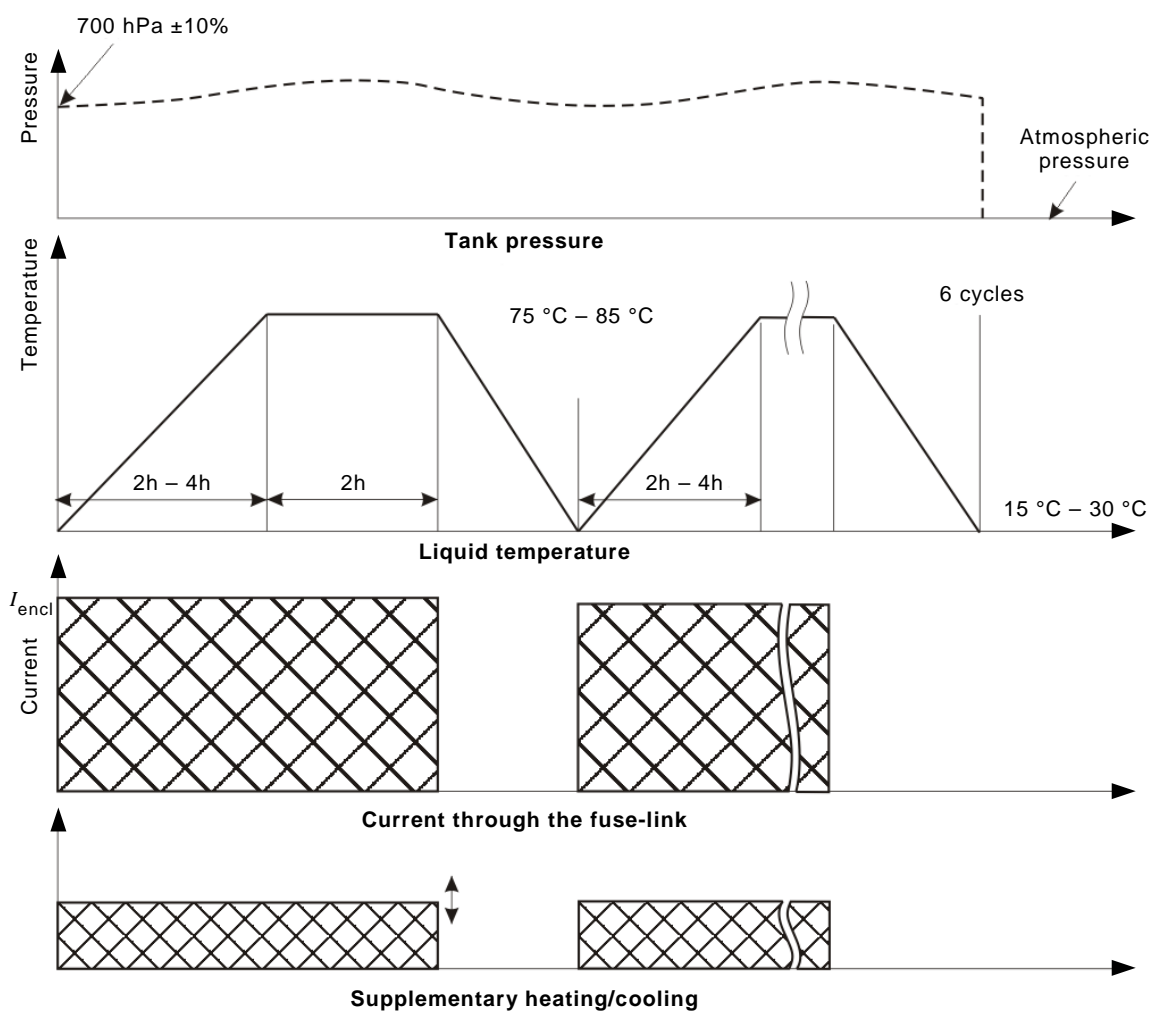
The fuse-link shall be immersed in insulating liquid under a pressure of 700 hPa \pm 10 % (above atmospheric pressure). A current equal to the maximum permissible continuous

current of the fuse-link I_{encl} at 80 °C (see IEC/TR 62655:2013, Annex A) 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 permissible continuous current I_{encl} for this temperature (see IEC/TR 62655:2013, Annex A).

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



IEC 1934/14

Figure 12 – Test sequence for switchgear type applications

7.7.3 Liquid-tightness tests for transformer type applications

7.7.3.1 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 7.7.3 does not have to be tested to 7.7.2 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 7.7.3, 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.

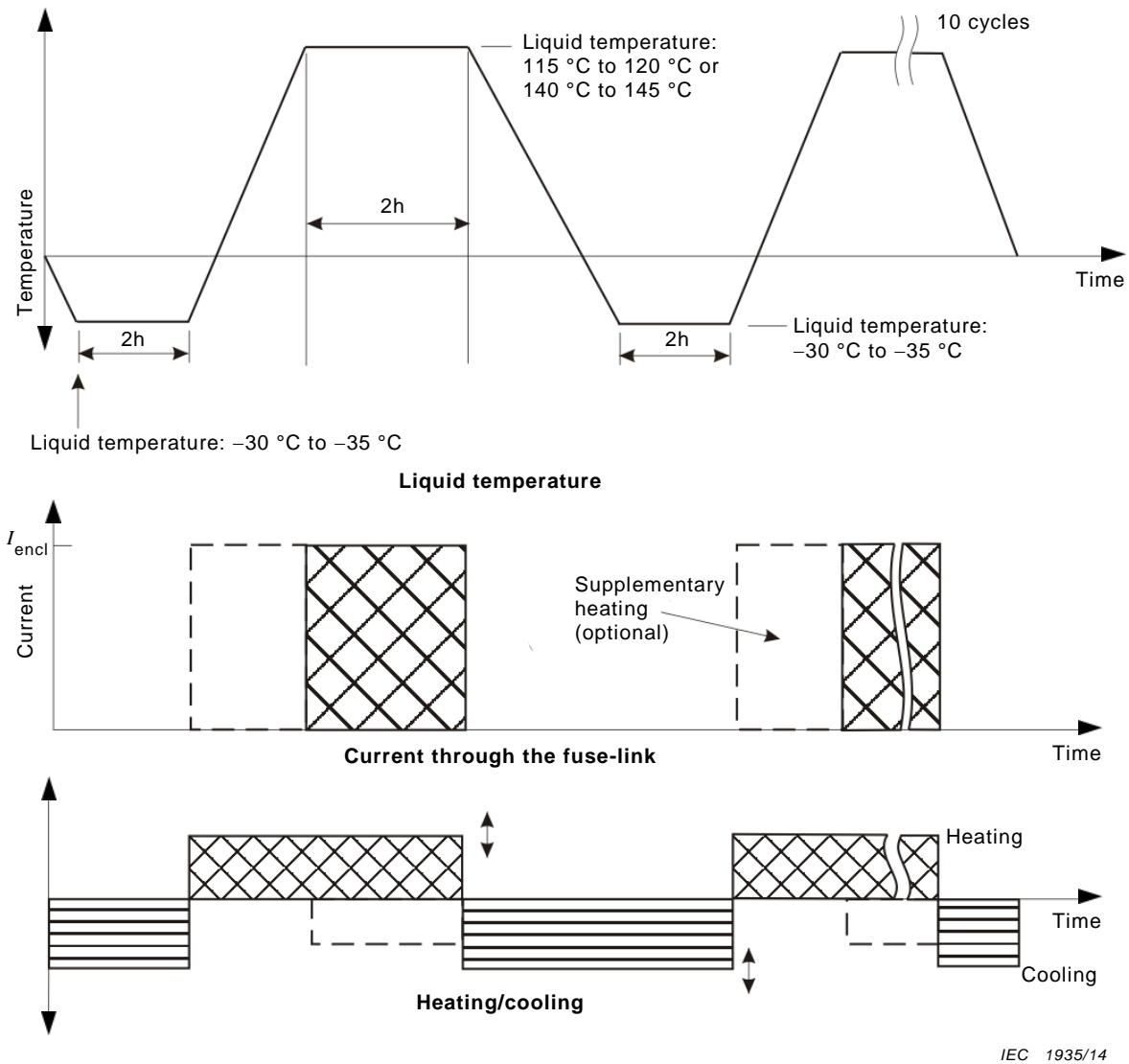
The manufacturer shall provide information concerning the assigned temperature (115 °C or 140 °C).

7.7.3.2 Thermal cycle test in liquid

The fuse-link shall be immersed in insulating liquid and the liquid temperature reduced to –30 °C (+0 °C, –5 °C). 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 –30 °C. When the liquid reaches 115 °C or 140 °C, current equal to the maximum permissible continuous current of the fuse-link I_{encl} for 115 °C or 140 °C (see IEC/TR 62655:2013, Annex A) shall be passed through the fuse for 2 h. During the 2 h period, the liquid temperature shall be maintained at 115 °C /140 °C (+5 °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 7.7.3.1. The cycle may be interrupted for any convenient period of time when the liquid temperature is at 20 °C (+10 °C, –10 °C). There shall be a holding period at –30 °C (+0 °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.



IEC 1935/14

Figure 13 – Test sequence for combined test for transformer type applications

7.7.3.3 Alternative tests

If it is not convenient to perform the testing as specified in 7.7.3.2 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 7.7.3.1, 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.

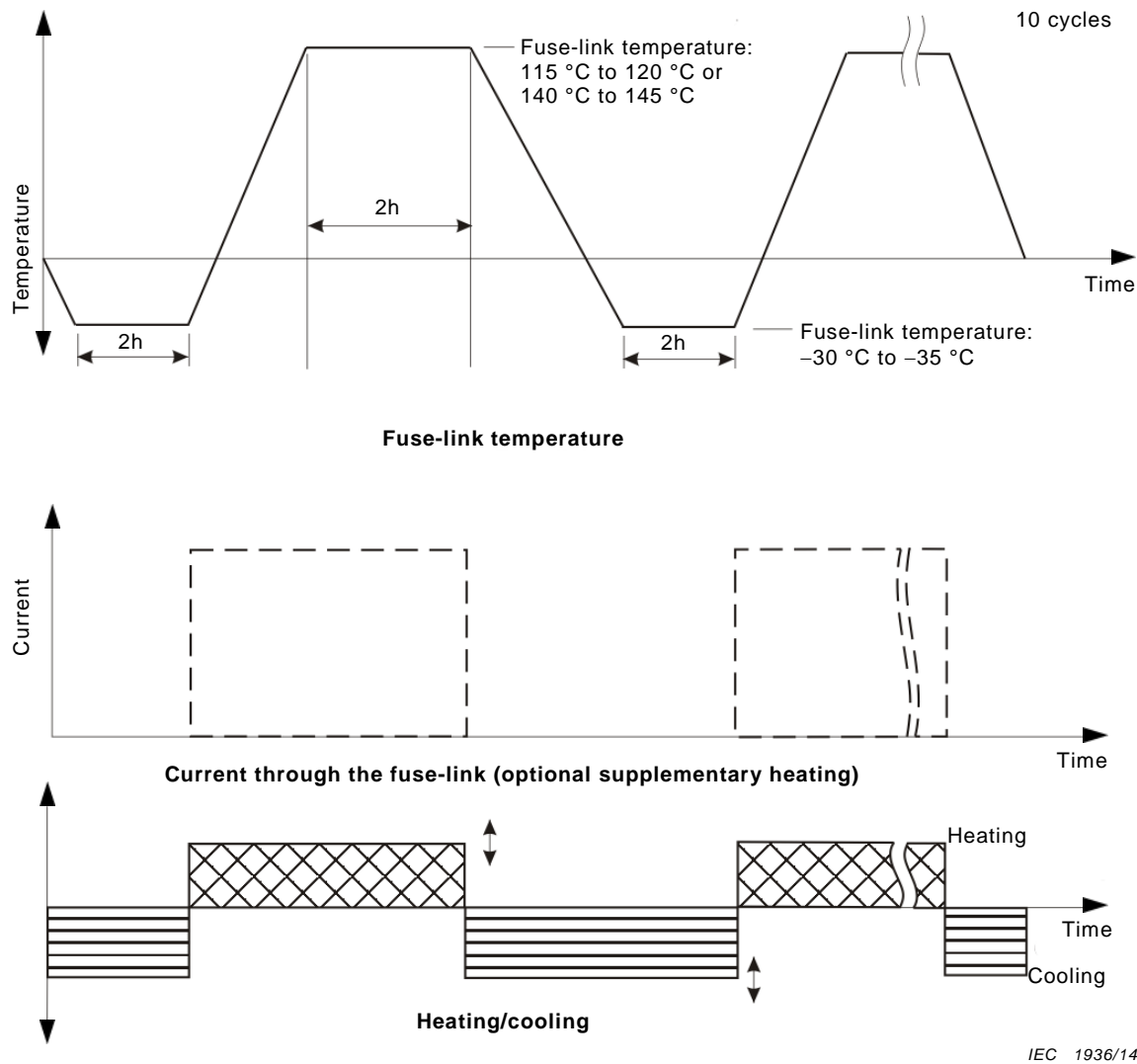


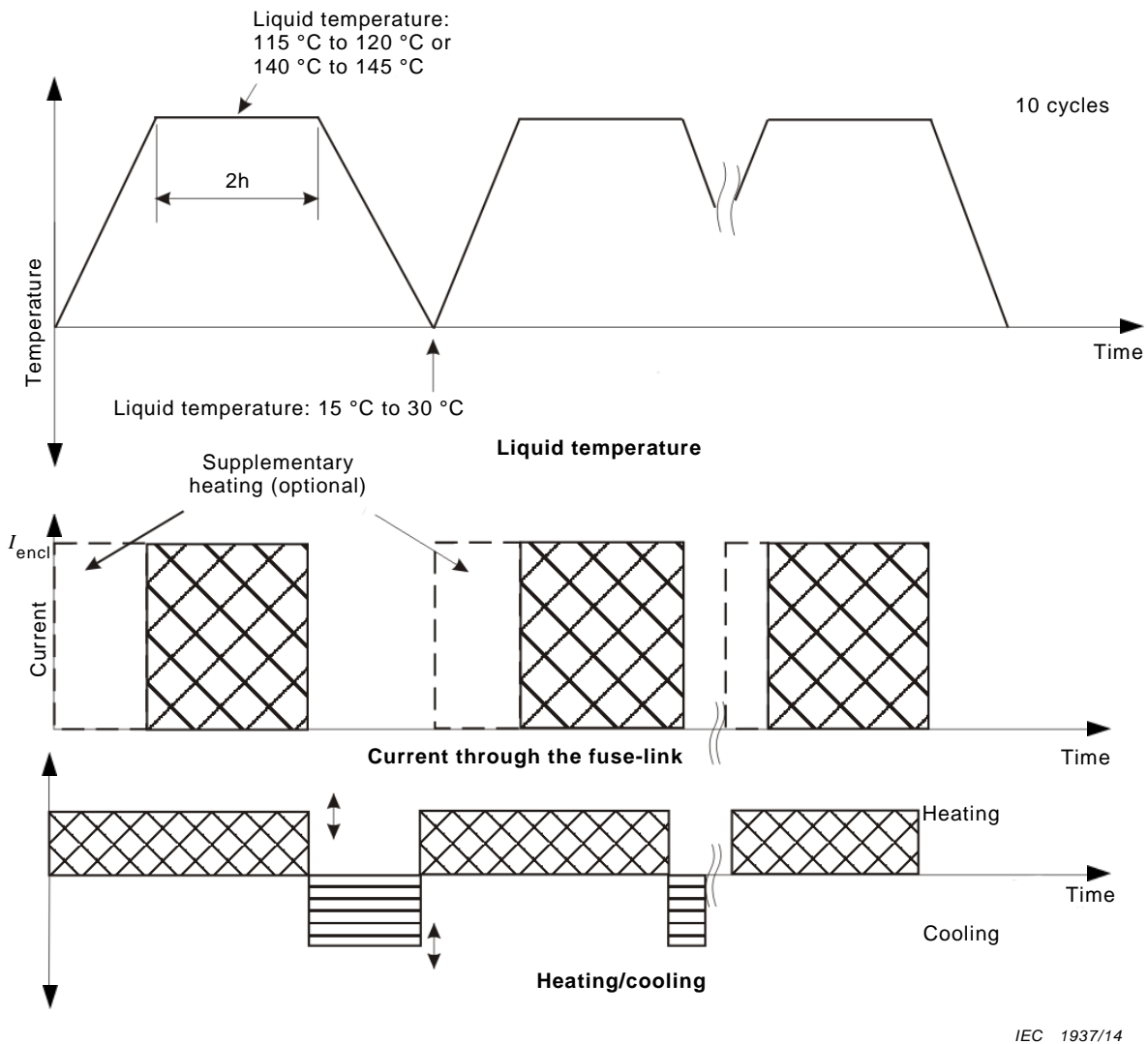
Figure 14 – Test sequence for series a) test for transformer type applications

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 permissible continuous current of the fuse-link I_{encl} at 115 °C or 140 °C (see IEC/TR 62655:2013, Annex A) shall be passed through the fuse for 2 h. During the 2 h period, the liquid temperature shall be maintained at 115 °C /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.



IEC 1937/14

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

8 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.

9 Application guide

For application information, see those parts of Clause 5 of IEC/TR 62655:2013 that are applicable to current-limiting fuses.

Explanation: During the course of the making of this amendment to Publication 60282-1, ed.7.0, also its Clause 9 Application Guide did undergo certain amendments. The technical contents of that amended Clause 9 has, in the meantime, been incorporated into Clause 5 of IEC/TR 62655, the Tutorial and application guide for high-voltage fuses, published in May 2013. Hence the decision to delete the content of Clause 9 in the amended 60282-1.

Annex A (normative)

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

A.1 General

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.

NOTE 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 [Figures A.1](#) and [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 [Figures A.1](#) and [A.2](#), can be obtained as coordinates of the point of intersection A.

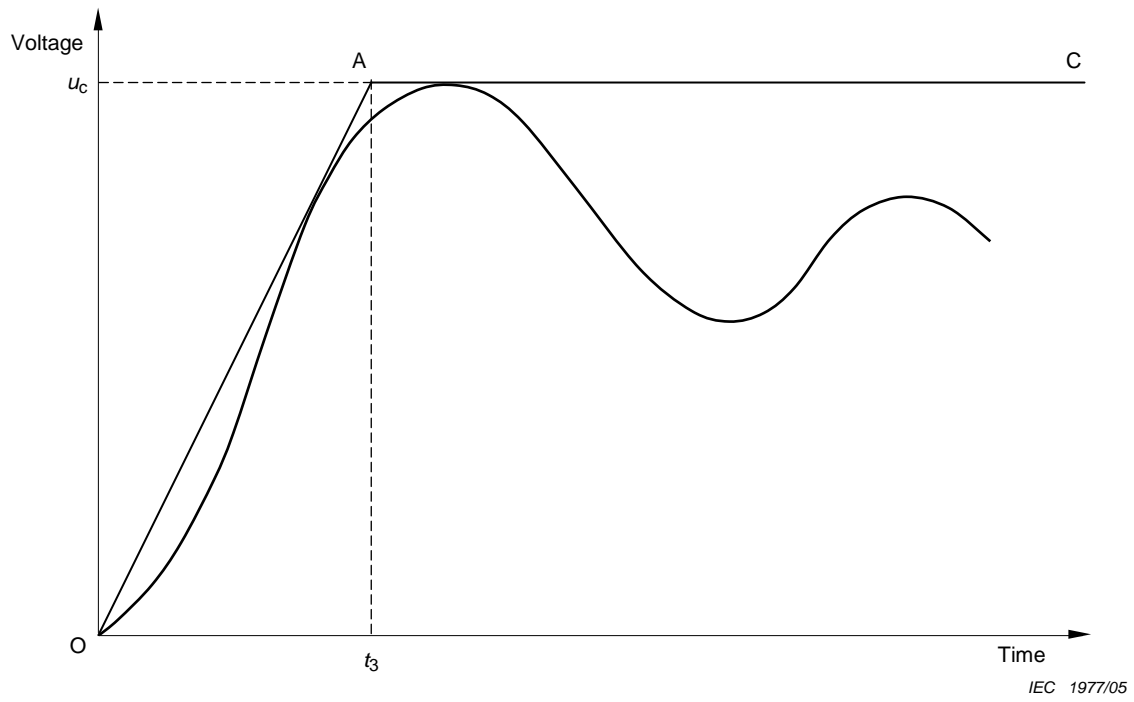


Figure A.1 – Example of a two-parameters reference line for a TRV whose initial portion is concave towards the left

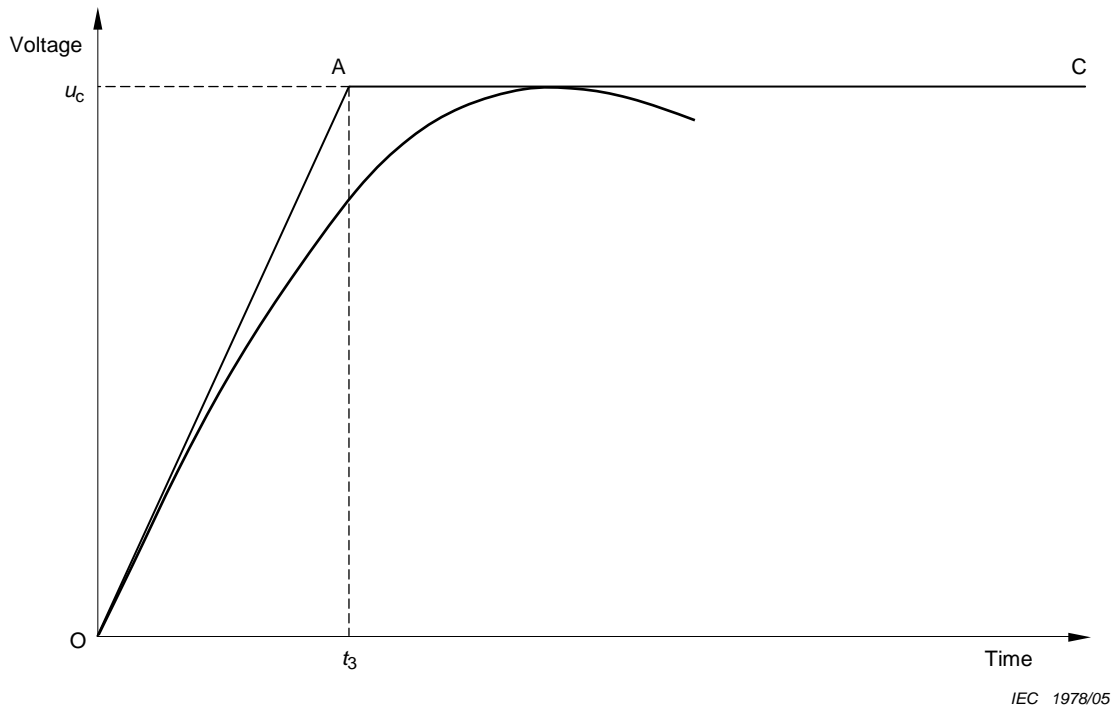


Figure A.2 – Example of a two-parameters reference line for an exponential TRV

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 standard 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 13](#) of this standard. 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 e.m.f. 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 e.m.f. 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 must 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 IEC 62271-100 (see Tables 14 and 15 of this standard). 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 Tables 9 and 10 of this standard.

Test Duty 3 – This standard does not specify TRV conditions; instead, 6.6.1.2 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 oil-tight fuse-links for switchgear

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.

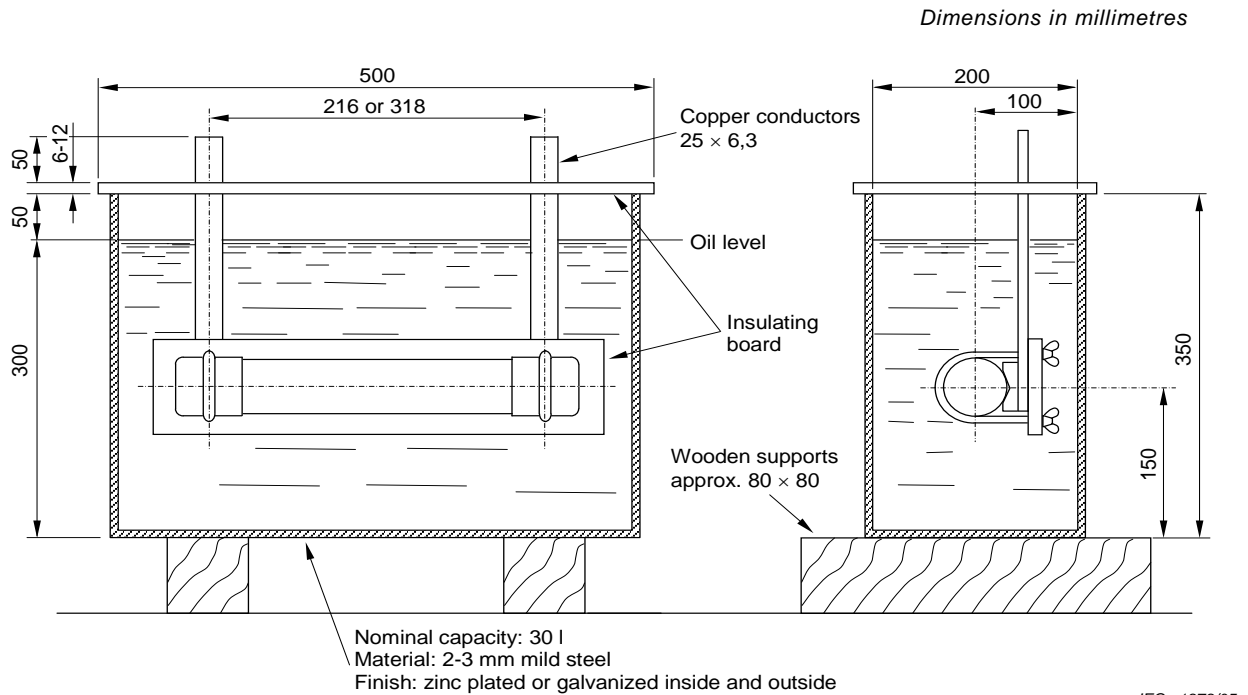
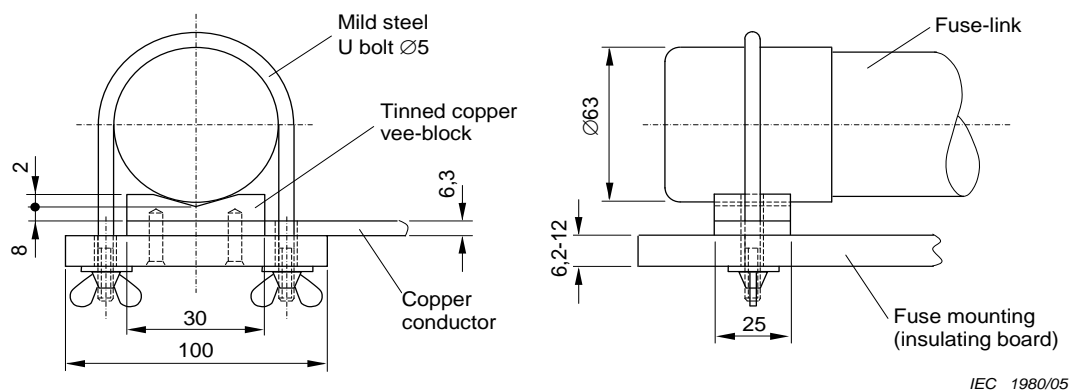


Figure C.1 – Test tank for temperature-rise tests of oil-tight fuses



NOTE 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)

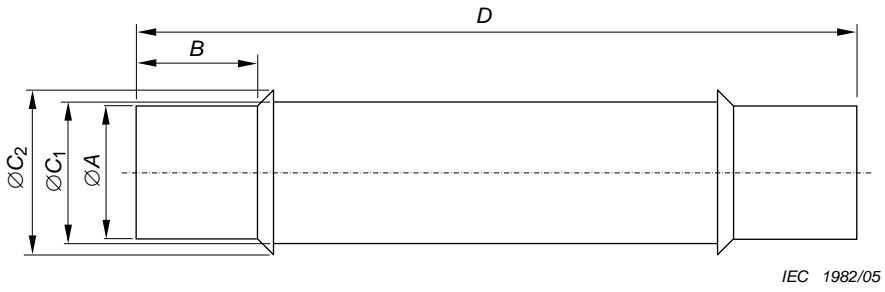
Types and dimensions of current-limiting fuse-links specified in existing national standards

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.

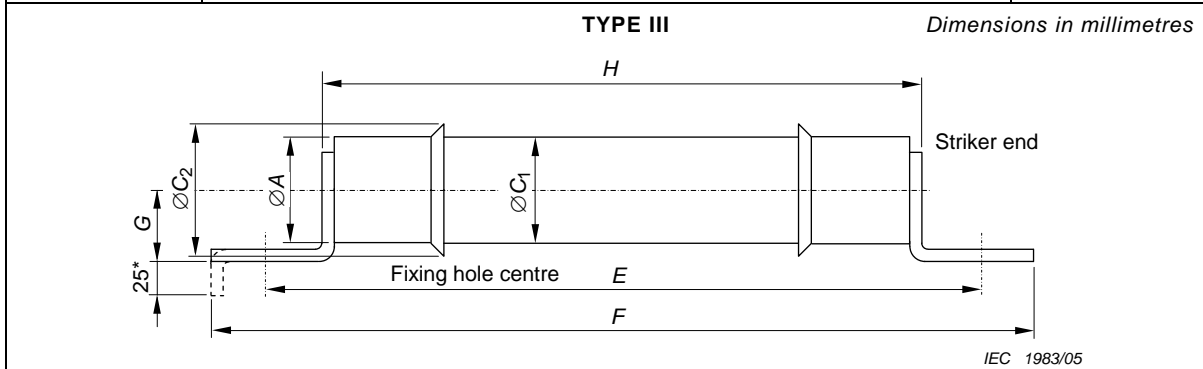
It is expected that this annex will keep countries informed of efforts devoted to the standardisation of fuse-links and will encourage them to achieve a reduction of the number of types. It is hoped that a second step will be to up-date and complete this annex in order to obtain a worldwide standardisation 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		
<p>TYPE I <i>Dimensions in millimetres</i></p>				
ØA	B	ØC₂ min.	ØC₁ and C₂ max.	D₋₁⁰
45 ± 1	33 ⁺² ₀	50	88	192 292 367 442 537
55 ± 0,5	35 ± 1	60	80	450
<p>The striker or indicator, if any, shall be on the centre-line of the fuse-link.</p>				

FUSE-LINKS FOR CURRENT-LIMITING FUSES		Data sheet II		
TYPE II <i>Dimensions in millimetres</i>				
 <p style="text-align: right; font-size: small;">IEC 1982/05</p>				
$\varnothing A \pm 0,5$	$B \begin{smallmatrix} +13 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$\varnothing C_1$ 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.				

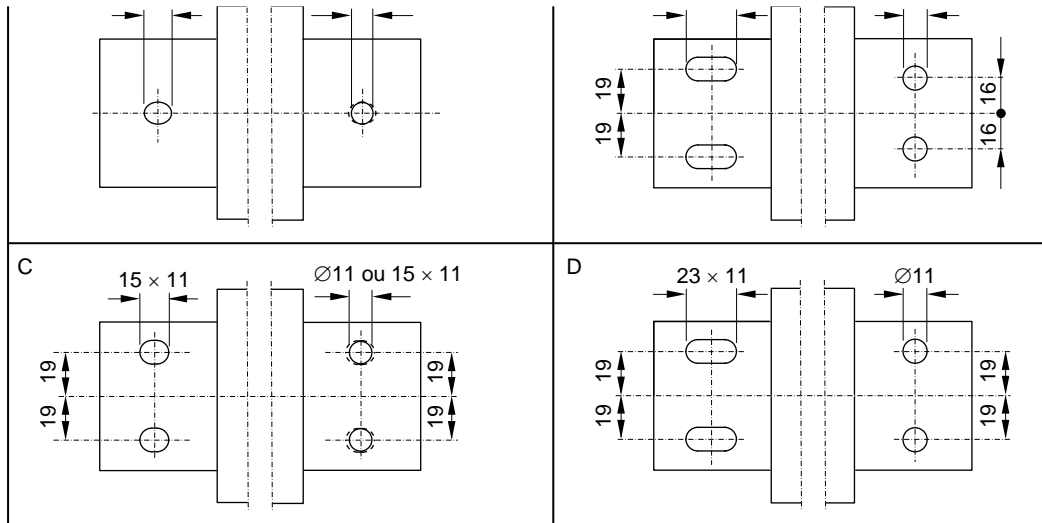
	FUSE-LINKS FOR CURRENT-LIMITING FUSES	Data sheet III
--	--	-------------------



* For tag D only.

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

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



IEC 1984/05

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.2 General

Normal service conditions as given in 2.1 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.3 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.4 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.5 Specific service conditions

The requirements in this annex are intended to cover the following service conditions. They are the same as those covered in informative Annex F 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 (see item c) of Clause F.2). It is important to note that the relevant fuse-link rated MAT is based on the temperature of the air or liquid outside the small enclosure or canister that is cooling it.

NOTE Other gasses than air may be used for cooling, for example SF₆

- 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.6 Additional breaking test requirements

E.6.1 Test practices

Breaking test practices shall be as specified in 6.3, 6.6.1 and as follows.

The following tests shall be performed in addition to those specified in 6.6, unless otherwise specified in this annex.

NOTE Testing in accordance with 6.6, 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 13, 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 6.6.1.1, 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 13](#) are replaced with the tests specified in E.6.3.

E.6.2 Test procedure

Test procedures shall be as specified in 6.6.2, 6.6.3 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 oil-filled enclosures is being tested, for convenience, in air (see 6.6.1.5.2), 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 6.3 and 6.6. However, this is considered acceptable because Annex E testing is performed in addition to the tests covered in 6.6.

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 oil) 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.6.3 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.6.2.

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 E.7.

A two-part breaking test is then carried out as in item c) or d) of 6.6.3.1. The high-voltage current I_3 is determined from the thermal testing described in Clause E.7. 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.7 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.6.2, 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 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)

Practical guidelines for thermal derating of current-limiting fuses

Annex A of IEC/TR 62655:2013 is to be used.

Annex G (informative)

Criteria for determining I_t testing validity

G.1 General

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.

G.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 must break (without help from the high current section) and the lowest current that the high current section must 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, 6.6.1.3 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 (IEV) – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

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

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

IEC/TR 60890:1987, *A method of temperature-rise assessment by extrapolation for partially type-tested assemblies (PTTA) of low-voltage switchgear and controlgear*

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

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	76
1 Généralités	78
1.1 Domaine d'application.....	78
1.2 Références normatives	78
2 Conditions normales et spéciales de service	79
2.1 Conditions normales de service	79
2.2 Autres conditions de service	80
2.3 Conditions spéciales de service	80
2.4 Comportement dans l'environnement	80
3 Termes et définitions	81
3.1 Caractéristiques électriques.....	81
3.2 Fusibles et leurs éléments constitutifs.....	84
3.3 Termes complémentaires.....	86
4 Valeurs assignées et caractéristiques	87
4.1 Généralités.....	87
4.2 Tension assignée (U_T)	88
4.3 Niveau d'isolement assigné (d'un socle).....	88
4.4 Fréquence assignée	90
4.5 Courant assigné du socle.....	90
4.6 Courant assigné de l'élément de remplacement (I_T).....	90
4.7 Limites d'échauffement.....	90
4.8 Pouvoir de coupure assigné.....	91
4.8.1 Courant maximal de coupure assigné (I_T).....	91
4.8.2 Courant minimal de coupure assigné et classe	92
4.9 Surtensions de fonctionnement.....	92
4.10 Tension transitoire de rétablissement assignée (TTR assignée)	94
4.10.1 Généralités	94
4.10.2 Représentation de la TTR	96
4.10.3 Représentation des TTR assignées.....	96
4.11 Caractéristiques temps-courant	97
4.12 Caractéristiques d'amplitude du courant coupé limité	98
4.13 Caractéristiques I^2t	98
4.14 Caractéristiques mécaniques des percuteurs	98
4.15 Exigences spéciales pour les fusibles Associés destinés à être utilisés dans les combinés interrupteurs-fusibles selon l'IEC 62271-105	99
4.15.1 Généralités	99
4.15.2 Température maximale du corps du fusible dans les conditions de préarc.....	100
4.15.3 Temps d'arc maximal admissible	100
5 Conception, construction et performances.....	100
5.1 Exigences générales concernant le fonctionnement des fusibles	100
5.1.1 Généralités	100
5.1.2 Conditions normales d'utilisation	100
5.1.3 Conditions normales de comportement.....	101
5.2 Indications à porter sur les plaques signalétiques.....	102
5.3 Dimensions	102

6	Essais de type.....	102
6.1	Conditions d'exécution des essais	102
6.2	Liste des essais de type	103
6.3	Règles d'essais communes à tous les essais de type.....	103
6.3.1	Généralités	103
6.3.2	Etat de l'appareil à l'essai	103
6.3.3	Montage des fusibles	103
6.4	Essais diélectriques.....	104
6.4.1	Règles d'essais	104
6.4.2	Points d'application de la tension d'essai pour les essais aux ondes de choc et à fréquence industrielle.....	104
6.4.3	Conditions atmosphériques pendant l'essai	104
6.4.4	Essais à sec aux chocs de foudre	105
6.4.5	Essais de tension de tenue à sec à fréquence industrielle	105
6.4.6	Essais de tension de tenue sous pluie à fréquence industrielle	105
6.5	Essais d'échauffement et mesurage de la puissance dissipée	106
6.5.1	Règles d'essais	106
6.5.2	Mesurage de la température	107
6.5.3	Mesurage de la puissance dissipée.....	108
6.6	Essais de coupure.....	108
6.6.1	Règles d'essais	108
6.6.2	Modalités d'essai	115
6.6.3	Variantes de la méthode d'essais pour la suite d'essais 3.....	120
6.6.4	Essais de coupure pour les éléments de remplacement d'une série homogène	121
6.6.5	Qualification par interpolation d'une série homogène d'éléments de remplacement.....	122
6.6.6	Acceptation d'une série homogène d'éléments de remplacement de longueurs différentes	123
6.7	Essais de vérification de la caractéristique temps-courant.....	123
6.7.1	Règles d'essais	123
6.7.2	Méthode d'essai.....	124
6.8	Essais des percuteurs	124
6.8.1	Généralités	124
6.8.2	Percuteurs à essayer	125
6.8.3	Essais de fonctionnement	125
6.8.4	Résultats à obtenir au cours des essais	125
6.9	Compatibilité électromagnétique (CEM)	126
7	Essais spéciaux	126
7.1	Généralités	126
7.2	Liste des essais spéciaux.....	127
7.3	Essais de chocs thermiques	127
7.3.1	Echantillons d'essais	127
7.3.2	Mise en place de l'équipement	127
7.3.3	Méthode d'essai.....	127
7.4	Essais de puissance dissipée pour les fusibles dont l'utilisation sous enveloppes n'est pas prévue	128
7.5	Essai d'étanchéité (pénétration d'humidité).....	128
7.5.1	Conditions d'essai.....	128

7.5.2	Echantillon d'essai.....	128
7.5.3	Méthode d'essai.....	128
7.6	Essai pour les fusibles Associés destinés aux combinés interrupteurs-fusibles selon l'IEC 62271-105.....	128
7.6.1	Généralités.....	128
7.6.2	Essai d'échauffement en condition de préarc.....	128
7.6.3	Temps d'arc admissible.....	129
7.7	Essais d'étanchéité au liquide isolant.....	129
7.7.1	Généralités.....	129
7.7.2	Essais d'étanchéité aux liquides pour les applications de type appareillage.....	129
7.7.3	Essais d'étanchéité aux liquides pour les applications de type transformateur.....	130
8	Essais individuels de série.....	135
9	Guide d'application.....	135
	Annexe A (normative) Méthode de tracé de l'enveloppe de la tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit et détermination des paramètres représentatifs.....	137
	Annexe B (informative) Justification du choix des caractéristiques de TTR pour les suites d'essais 1, 2 et 3.....	139
	Annexe C (informative) Dispositif recommandé pour les essais d'échauffement des éléments de remplacement d'appareillage immergés dans l'huile.....	142
	Annexe D (informative) Types et dimensions des éléments de remplacement limiteurs de courant spécifiés dans les normes nationales existantes.....	144
	Annexe E (normative) Exigences relatives à certains types d'éléments fusibles conçus pour être utilisés dans un environnement dont la température est supérieure à 40 °C.....	147
	Annexe F (informative) Guide pratique pour le déclassement thermique des fusibles limiteurs de courant.....	150
	Annexe G (informative) Critères pour déterminer la validité des essais I_t	151
	Bibliographie.....	153
	Figure 1 – Terminologie.....	85
	Figure 2 – Surtensions de fonctionnement admissibles pour les éléments de remplacement de faibles courants assignés (Tableau 8).....	94
	Figure 3 – Représentation d'une TTR spécifiée par un tracé de référence à deux paramètres et par un segment de droite définissant un retard.....	97
	Figure 4 – Différentes étapes de la course du percuteur.....	99
	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.....	112
	Figure 6 – Essais de coupure – Disposition de l'appareil.....	115
	Figure 7 – Essais de coupure – Schéma type pour les suites d'essais 1 et 2.....	116
	Figure 8 – Essais de coupure – Schéma type pour la suite d'essais 3.....	116
	Figure 9 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes pour la suite d'essais 1.....	118
	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).....	119
	Figure 11 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes de la suite d'essais 3.....	119
	Figure 12 – Séquence d'essai pour les applications de type appareillage.....	130

Figure 13 – Séquence d'essai pour l'essai combiné pour les applications de type transformateur.....	132
Figure 14 – Séquence d'essai pour la série a) essai pour les applications de type transformateur.....	133
Figure 15 – Séquence d'essai pour la série b) essai pour les applications de type transformateur.....	134
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.....	138
Figure A.2 – Exemple d'un tracé de référence à deux paramètres pour une TTR exponentielle.....	138
Figure C.1 – Cuve d'essai pour essais d'échauffement des fusibles immergés dans l'huile.....	142
Figure C.2 – Détail de la fixation de l'élément de remplacement de la cuve.....	143
Tableau 1 – Facteurs de correction selon l'altitude – Tension d'essais et tension assignée.....	79
Tableau 2 – Facteurs de correction selon l'altitude – Courant assigné et échauffement.....	80
Tableau 3 – Tensions assignées.....	88
Tableau 4 – Niveaux d'isolement assigné du socle – Série I.....	89
Tableau 5 – Niveaux d'isolement assigné du socle – Série II.....	89
Tableau 6 – Limites de température et d'échauffement des pièces et des matériaux.....	91
Tableau 7 – Surtensions maximales de fonctionnement admissibles.....	92
Tableau 8 – Valeurs maximales admissibles de la surtension de fonctionnement pour certains éléments de remplacement de petits courants assignés.....	93
Tableau 9 – Valeurs normales de la TTR assignée – Série I.....	95
Tableau 10 – Valeurs normales de la TTR assignée – Série II.....	95
Tableau 11 – Caractéristiques mécaniques des percuteurs.....	99
Tableau 12 – Branchement électrique au circuit d'essai – Dimensions des conducteurs.....	106
Tableau 13 – Essais de coupure – Paramètres.....	110
Tableau 14 – TTR pour la suite d'essais 2 – Série I.....	113
Tableau 15 – TTR pour la suite d'essais 2 – Série II.....	113
Tableau 16 – Exigences d'essais de coupure pour les éléments de remplacement d'une série homogène.....	122

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.

Cette version consolidée de l'IEC 60282-1 porte le numéro d'édition 7.1. Elle comprend la septième édition (2009-10) [documents 32A/274/FDIS et 32A/277/RVD] et son amendement 1 (2014-07) [documents 32A/311/FDIS et 32A/312/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

Cette publication a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60282 présentées 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 la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

FUSIBLES À HAUTE TENSION –

Partie 1: Fusibles limiteurs de courant

1 Généralités

1.1 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.

Certains fusibles sont équipés d'éléments de remplacement pourvus d'un dispositif indicateur ou d'un percuteur. Ces fusibles rentrent dans le domaine d'application de la présente norme, mais le fonctionnement correct du percuteur lié au dispositif d'ouverture d'un appareil mécanique de connexion est en dehors du domaine d'application de cette norme; voir l'IEC 62271-105.

1.2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60060-1:1989, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

IEC 60071-1:2006, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

IEC 60085:2007, *Isolation électrique – Evaluation et désignation thermiques*

IEC 60265-1:1998, *Interrupteurs à haute tension – Partie 1: Interrupteurs pour tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures à 52 kV*

IEC 60549:1976, *Coupe-circuit à fusibles haute tension destinés à la protection externe des condensateurs de puissance en dérivation*

IEC 60644:1979, *Spécification relative aux éléments de remplacement à haute tension destinés à des circuits comprenant des moteurs*

IEC/TR 60787:2007, *Guide d'application pour le choix des éléments de remplacement limiteurs de courant à haute tension destinés à être utilisés dans des circuits comprenant des transformateurs*

IEC 62271-105:2002, *Appareillage à haute tension – Partie 105: Combinés interrupteurs-fusibles pour courant alternatif*

IEC TR 62655:2013, *Guide explicatif et d'application pour les fusibles à haute tension*

ISO 148-2, *Matériaux métalliques – Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy – Partie 2: Vérification des machines d'essai (mouton-pendule)*

2 Conditions normales et spéciales de service

2.1 Conditions normales de service

Les fusibles conformes à la présente norme 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 seront modifiées aux températures minimale et maximale.

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

NOTE 2 Les tensions assignées et les niveaux d'isolement spécifiés dans cette norme s'appliquent aux fusibles prévus pour utilisation à des altitudes ne dépassant pas 1 000 m. Lorsque des fusibles comprenant une isolation externe sont utilisés à des altitudes supérieures à 1 000 m, il convient d'adopter l'une ou l'autre des méthodes suivantes.

- a) Il convient que les tensions d'essai des parties isolantes dans l'air soient déterminées en multipliant les tensions d'essai normales données dans les Tableaux 4 et 5 par le facteur de correction approprié indiqué dans la colonne (2) du Tableau 1.
- b) Les fusibles peuvent être choisis d'une tension assignée qui, multipliée par le facteur de correction approprié donné dans la colonne (3) du Tableau 1, ne soit pas inférieure à la tension la plus élevée du réseau.

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 –
Tension d'essais et tension assignée**

Altitude maximale m (1)	Facteur de correction des tensions d'essai au niveau de la mer (2)	Facteur de correction des tensions assignées (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.

NOTE 3 Le courant assigné ou l'échauffement spécifié dans cette norme peut être corrigé pour des altitudes supérieures à 1 000 m en utilisant les facteurs appropriés donnés dans le Tableau 2, respectivement dans les colonnes (2) et (3). Dans chaque cas, un seul des facteurs donnés dans les colonnes (2) et (3) sera utilisé, mais non les deux.

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 – Courant assigné et échauffement

Altitude maximale m (1)	Facteur de correction pour le courant assigné (2)	Facteur de correction pour l'échauffement (3)
1 000	1,0	1,0
1 500	0,99	0,98
3 000	0,96	0,92

- 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 lignes directrices:
- 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 4 La condensation est à prévoir dans les lieux où de brusques variations de température risquent de se produire en période de grande humidité.

NOTE 5 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, on peut utiliser des fusibles pour l'intérieur, prévus pour de telles conditions et essayés en conséquence, ou des fusibles pour l'extérieur.

NOTE 6 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 d'humidificateurs.

- 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 y a lieu de tenir compte de la présence de condensation ou de pluie et des changements rapides de température;
- g) la pression du vent n'excède pas 700 Pa (correspondant à une vitesse de vent de 34 m/s);
- h) la radiation solaire ne dépasse pas 1,1 kW/m².

2.2 Autres conditions de service

Les fusibles conçus pour être utilisés avec une température environnante (voir 3.3.11) supérieure à 40 °C sont couverts par cette norme dans l'Annexe E.

2.3 Conditions spéciales de service

Par accord entre le constructeur et l'utilisateur, les fusibles peuvent être utilisés dans des conditions différant des conditions normales de service indiquées en 2.1. Pour toute condition spéciale de service, il y a lieu de consulter le constructeur.

2.4 Comportement dans l'environnement

Les fusibles conformes à la présente norme sont des dispositifs inertes en service normal. Il est aussi spécifié en 5.1.3 qu'aucune émission externe significative ne doit se produire. Ce sont donc des dispositifs non polluants en service et en fonctionnement.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

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, dispositif, matériel ou système

NOTE Exemples de valeurs assignées généralement indiquées pour des fusibles: tension, courant et pouvoir de coupure.

[VEI 441-18-35 modifié]

3.1.2

caractéristiques assignées

ensemble des valeurs assignées et des conditions de fonctionnement

[VEI 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 Voir en 6.6.2.1 et 6.6.2.2 la méthode pour évaluer et pour exprimer le courant présumé.

[VEI 441-17-01, modifiée]

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 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 on ne considère que le courant dans un seul pôle.

[VEI 441-17-02]

3.1.5

courant coupé présumé

courant présumé évalué à l'instant correspondant au début du phénomène de coupure

[VEI 441-17-06]

NOTE Pour les fusibles, cet instant est habituellement choisi comme l'instant du début d'un arc au cours d'une coupure. Les conventions relatives à l'instant du début de l'arc sont données en 6.6.2.3.

3.1.6

pouvoir de coupure

valeur de courant présumé qu'un élément de remplacement est capable d'interrompre sous une tension fixée dans des conditions prescrites d'emploi et de comportement

[SOURCE: IEC 60050-441, 441-17-08, modifiée (modification de la définition et suppression des Notes)]

3.1.7 courant coupé limité

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

NOTE 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.

[VEI 441-17-12, modifiée]

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 le ou les éléments fusibles jusqu'à l'instant où un arc commence à se former

[VEI 441-18-21]

3.1.9 durée d'arc

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

[VEI 441-17-37, modifiée]

3.1.10 durée de fonctionnement

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

[VEI 441-18-22]

3.1.11 intégrale de Joule

I^2t

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 Le I^2t de préarc est l'intégrale I^2t pour la durée de préarc du fusible.

NOTE 2 Le I^2t de fonctionnement est l'intégrale I^2t pour la durée de fonctionnement du fusible.

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

[VEI 441-18-23 modifié]

3.1.12 durée virtuelle

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

NOTE Les valeurs des durées virtuelles, généralement indiquées pour un élément de remplacement, se rapportent à la durée de préarc et la durée de fonctionnement.

[VEI 441-18-37 modifié]

3.1.13

caractéristique temps-courant

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

[VEI 441-17-13]

3.1.14

caractéristique de courant coupé limité

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

NOTE 1 Les valeurs du courant coupé limité sont les valeurs maximales qui peuvent être atteintes quel que soit le degré d'asymétrie.

[SOURCE: IEC 60050-441, 441-17-14, modifiée (modification de la définition et de 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 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, 441-17-25, modifiée (modification de la définition et de la Note à l'article)]

3.1.16

tension transitoire de rétablissement (abréviation TTR)

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

NOTE 1 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 d'un circuit polyphasé.

NOTE 2 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.

[VEI 441-17-26, modifiée]

3.1.17

tension de rétablissement à fréquence industrielle

tension de rétablissement après la disparition des phénomènes transitoires de tension

[VEI 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 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, on suppose en outre que la coupure du courant par l'appareil de connexion idéal n'a lieu que sur le pôle considéré.

[VEI 441-17-29, modifiée]

3.1.19 surtension de fonctionnement – tension de coupure

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

NOTE La tension de coupure peut être la tension d'arc ou peut se produire en même temps que la tension transitoire de rétablissement.

[VEI 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

[VEI 441-18-29]

3.1.21 puissance dissipée (dans un élément de remplacement)

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

NOTE Les conditions prescrites d'emploi et de comportement comprennent généralement une valeur efficace constante de courant jusqu'à l'obtention de conditions stables de température.

[VEI 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

3.2 Fusibles et leurs éléments constitutifs

3.2.1 fusible

coupe-circuit à fusibles

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 dans lequel il est inséré 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

[VEI 441-18-01]

3.2.2 borne

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

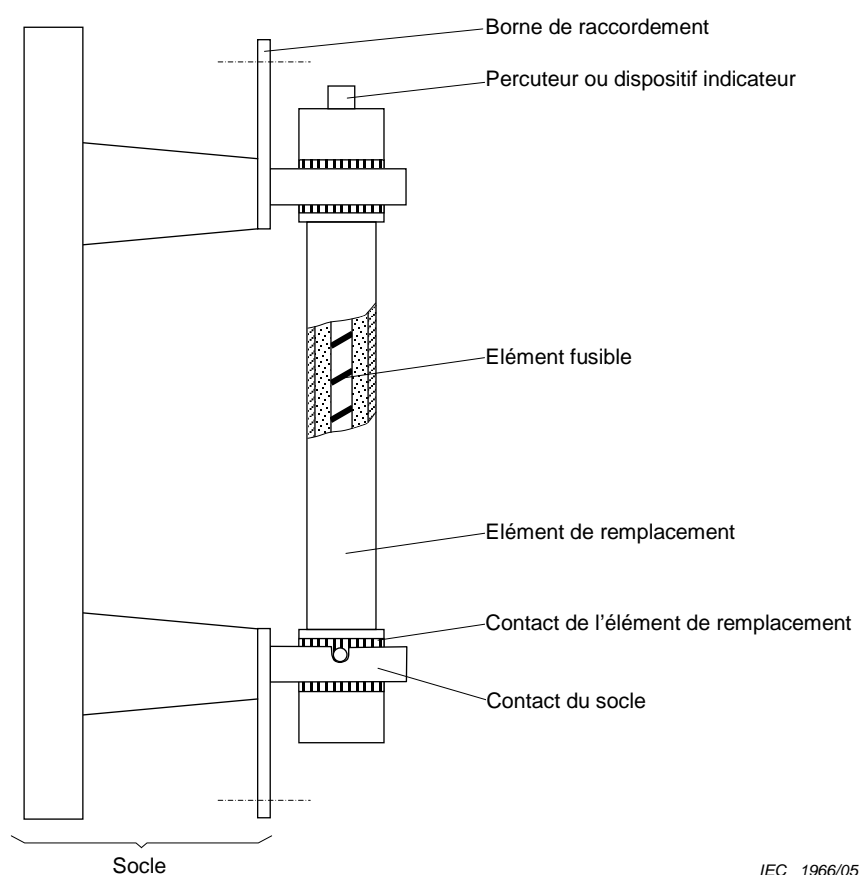
NOTE On peut distinguer les bornes selon le type de circuit auquel elles appartiennent (par exemple borne principale, borne de terre, etc.) mais aussi selon leur conception (par exemple borne à vis, borne à fiche, etc.).

3.2.3 socle

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

NOTE Le socle comprend tous les éléments assurant l'isolement (voir [Figure 1](#)).

[VEI 441-18-02]



IEC 1966/05

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 ou avec celui d'un porte-élément de remplacement (voir [Figure 1](#))

[VEI 441-18-03, modifiée]

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](#))

[VEI 441-18-09]

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](#))

[VEI 441-18-04, modifiée]

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](#))

[VEI 441-18-08]

3.2.8

dispositif indicateur

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

[VEI 441-18-17]

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

[VEI 441-18-18]

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

[VEI 441-18-10, modifiée]

3.3.2

classes

trois classes de fusibles limiteurs de courant sont définies selon la zone dans laquelle ils peuvent être utilisés:

- fusible Associé
- fusible d'Usage Général
- fusible à Coupure Intégrale

Voir 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 d'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 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 6.6.1.1, 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

[VEI 441-18-06, modifiée]

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 6.6.4.1)

[VEI 441-18-34]

3.3.8

isolation externe

distances dans l'air à pression atmosphérique et surfaces en contact avec l'atmosphère des isolations solides d'un matériel qui sont soumises aux contraintes diélectriques et à l'influence des conditions atmosphériques ou d'autres agents externes tels que la pollution, l'humidité, les animaux, etc.

[VEI 604-03-02 modifié]

3.3.9

isolation autorégénératrice

isolation qui retrouve intégralement ses propriétés isolantes après une décharge disruptive

[VEI 604-03-04]

3.3.10

élément fusible dit «organique»

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

3.3.11

température environnante

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

4 Valeurs assignées et caractéristiques

4.1 Généralités

a) Valeurs assignées du socle

- 1) Tension assignée (4.2)
- 2) Courant assigné (4.5)
- 3) Niveau d'isolement assigné (tensions de tenue à fréquence industrielle à sec, sous l'effet de la pluie et des ondes de choc) (4.3)

b) Valeurs assignées de l'élément de remplacement

- 1) Tension assignée (4.2)
- 2) Courant assigné (4.6)
- 3) Courant maximal de coupure assigné (4.8.1)
- 4) Fréquence assignée (4.4)
- 5) Courant minimal de coupure assigné pour fusibles Associés (4.8.2)
- 6) TTR assignée (4.10)

c) Caractéristiques du fusible

- 1) Limites d'échauffement (4.7)
- d) Caractéristiques de l'élément de remplacement
 - 1) Classe (3.3.2 et 4.8.2)
 - 2) Surtensions de fonctionnement (4.9)
 - 3) Caractéristiques temps-courant (4.11)
 - 4) Caractéristique d'amplitude du courant coupé limité (4.12)
 - 5) Caractéristiques I^2t (4.13)
 - 6) Caractéristiques mécaniques des percuteurs (4.14)
 - 7) Température maximale d'utilisation (voir Annexe E).

4.2 Tension assignée (U_r)

Tension qui sert à désigner le socle ou l'élément de remplacement, et d'après laquelle sont déterminées les conditions d'essai.

NOTE 1 Cette tension assignée représente la tension la plus élevée du matériel (voir IEC 60038).

NOTE 2 Sur les réseaux triphasés mis directement à la terre, les fusibles ne peuvent être utilisés que si la tension réseau la plus élevée est inférieure ou égale à leur tension assignée. Avec les réseaux monophasés ou non mis directement à la terre, les fusibles ne peuvent être utilisés que si la tension réseau la plus élevée est inférieure ou égale à 87% de leur tension assignée, à moins que des essais spécifiques n'aient été réalisés (voir IEC/TR 62655:2013, 5.1.3).

Il convient que la tension assignée d'un fusible soit choisie parmi les tensions indiquées dans le [Tableau 3](#).

Tableau 3 – Tensions assignées

Série I kV	Série II kV
3,6	2,75
7,2	5,5
12	8,25
17,5	15
24	15,5
36	25,8
40,5	38
52	48,3
72,5	72,5

4.3 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 IEC/TR 62655:2013, 4.5).

Deux niveaux de tenue diélectrique sont reconnus 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 différentes valeurs de tension d'essai correspondantes pour les essais diélectriques (voir IEC/TR 62655:2013, 4.5.2).

Il est recommandé que le niveau d'isolement assigné d'un socle soit choisi dans les [Tableaux 4](#) et [5](#).

- Le **Tableau 4** est basé sur la pratique en Europe et les conditions normales de référence pour la température, la pression et l'humidité sont 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 normales de référence pour la température, la pression et l'humidité sont 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 (à sec et sous pluie)	
	Liste 1 kV (valeur de crête)		Liste 2 kV (valeur de crête)		kV (valeur efficace)	
	A la masse et entre pôles	Sur la distance de sectionnement du socle (voir note)	A la masse et entre pôles	Sur la distance de sectionnement du socle (voir note)	A la masse et entre pôles	Sur la distance de sectionnement du socle (voir note)
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

NOTE Un niveau d'isolement pour la distance de sectionnement n'est spécifié que pour les socles pour lesquels des propriétés de sectionnement sont assignées.

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) kV (valeur de crête)				Tension de tenue assignée à fréquence industrielle kV (valeur efficace)					
	A la masse et entre pôles		Sur la distance de sectionnement du socle (voir note)		A la masse et entre pôles			Sur la distance de sectionnement du socle (voir note)		
	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur 1 min à sec	Extérieur		Intérieur 1 min à sec	Extérieur	
						1 min à sec	10 s sous pluie		1 min à sec	10 s sous pluie
2,75	45	–	50	–	15	–	–	17	–	–
4,76	60	–	70	–	19	–	–	21	–	–
8,25	75	95	80	105	26	35	30	29	39	33
15	95	–	105	–	36	–	–	40	–	–
15,5	110	110	125	125	50	50	45	55	55	50
25,8	125	150	140	165	60	70	60	66	77	66
38	150	200	165	220	80	95	80	88	105	88
48,3	–	250	–	275	–	120	100	–	132	110
72,5	–	350	–	385	–	175	145	–	195	160

NOTE Un niveau d'isolement pour la distance de sectionnement n'est spécifié que pour les socles pour lesquels des propriétés de sectionnement sont assignées.

4.4 Fréquence assignée

Les valeurs normales de la fréquence assignée sont 50 Hz et 60 Hz.

4.5 Courant assigné du socle

Courant spécifié pour le socle, qu'un socle neuf et propre peut supporter d'une façon continue sans que les échauffements dépassent les valeurs spécifiées, lorsqu'il est équipé d'un élément de remplacement de même courant assigné destiné à être utilisé dans ce type de socle et raccordé au circuit au moyen de conducteurs ayant certaines dimensions et certaines longueurs spécifiées et pour une température de l'air ambiant ne dépassant pas 40 °C.

Il convient que le courant assigné du socle soit choisi parmi les valeurs suivantes:

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

4.6 Courant assigné de l'élément de remplacement (I_r)

Courant spécifié pour l'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 constructeur, raccordé au circuit au moyen de conducteurs ayant certaines dimensions et certaines longueurs spécifiées et pour une température de l'air ambiant ne dépassant pas 40 °C (voir IEC/TR 62655:2013).

Il est recommandé que le courant assigné de l'élément de remplacement, en ampères, soit choisi 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.

4.7 Limites d'échauffement

L'élément de remplacement et le socle doivent être capables de supporter de façon continue leur courant assigné sans que les limites d'échauffement données dans le [Tableau 6](#) soient dépassées et sans détérioration.

NOTE 1 Pour les fusibles utilisés dans des enveloppes, voir 6.5.3, l'IEC/TR 62655:2013, 5.1.1.2 et l'Annexe A.

NOTE 2 Par conséquent, lorsque le terme "huile" est employé dans la présente norme, on traite de tout liquide isolant approprié. Les liquides isolants appropriés sont ceux agréés par le constructeur de fusibles.

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.

Tableau 6 – Limites de température et d'échauffement des pièces et des matériaux

Nature du matériau ou de l'élément	Valeur maximale	
	Température °C	Echauffement K
A Contacts dans l'air:		
1 Contacts élastiques (cuivre et alliage de cuivre)		
– sans protection	75	35
– recouverts d'argent ou de nickel	105	65
– recouverts d'étain	95	55
– recouverts d'autres métaux (note de bas de page a)		
2 Contacts boulonnés ou dispositifs équivalents (cuivre, alliage de cuivre et alliage d'aluminium)		
– sans protection	90	50
– recouverts d'étain	105	65
– recouverts d'argent ou de nickel	115	75
– recouverts d'autres métaux (note de bas de page a)		
B Contacts dans l'huile en cuivre ou l'alliage de cuivre:		
1 Contacts élastiques		
– sans protection	80	40
– recouverts d'argent, d'étain ou de nickel	90	50
– recouverts d'autres métaux (note de bas de page a)		
2 Contacts boulonnés		
– sans protection	80	40
– recouverts d'argent, d'étain ou de nickel	100	60
– recouverts d'autres métaux (note de bas de page a)		
C Bornes boulonnées dans l'air:		
– sans protection	90	50
– recouvertes d'argent, d'étain ou de nickel	105	65
– recouvertes d'autres métaux (note de bas de page a)		
D Pièces métalliques formant ressorts (note de bas de page b)		
E Matériaux utilisés comme isolants et pièces métalliques en contact avec des isolants des classes suivantes (note de bas de page c):		
Classe Y (pour les matériaux non imprégnés)	90	50
Classe A (pour matériaux immergés dans l'huile ou imprégnés)	100	60
Classe E	120	80
Classe B	130	90
Classe F	155	115
Émail: à base d'huile	100	60
synthétique	120	80
Classe H	180	140
Autres classes (note de bas de page d)		
F Huile (notes de bas de page e et f)		
	90	50
G Toute pièce métallique ou en matériau isolant en contact avec l'huile à l'exception des contacts et des ressorts		
	100	60
<p>^a Si le constructeur utilise d'autres métaux de protection que ceux indiqués dans le Tableau 6, il convient de prendre en considération les propriétés de ces métaux.</p> <p>^b Il est recommandé que la température ou l'échauffement n'atteignent pas une valeur telle que l'élasticité du métal en soit modifiée.</p> <p>^c Classes suivant l'IEC 60085.</p> <p>^d Limitée seulement par la nécessité de ne pas provoquer de détérioration des pièces environnantes.</p> <p>^e A la partie supérieure de l'huile.</p> <p>^f Il convient de prêter une attention particulière aux questions de vaporisation et d'oxydation lorsqu'on utilise une huile de faible point d'éclair. La valeur de température donnée peut être dépassée pour les applications de type transformateur et/ou si des liquides synthétiques ou d'autres liquides isolants appropriés sont utilisés (voir 7.7.3 et IEC 60076-7).</p>		

4.8 Pouvoir de coupure assigné

4.8.1 Courant maximal de coupure assigné (I_c)

Il convient que le courant maximal de coupure assigné de l'élément de remplacement, 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.

4.8.2 Courant minimal de coupure assigné et classe

Le constructeur 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 d'Usage Général, il peut indiquer le courant minimal de coupure.

4.9 Surtensions de fonctionnement

Les valeurs de surtension en cours de fonctionnement pour toutes les suites d'essais ne doivent pas dépasser celles données dans les Tableaux 7 et 8.

Sur demande, le constructeur doit indiquer la valeur maximale des surtensions de fonctionnement telles qu'elles sont mesurées lors des essais de coupure (voir 6.6).

Tableau 7 – Surtensions maximales de fonctionnement admissibles

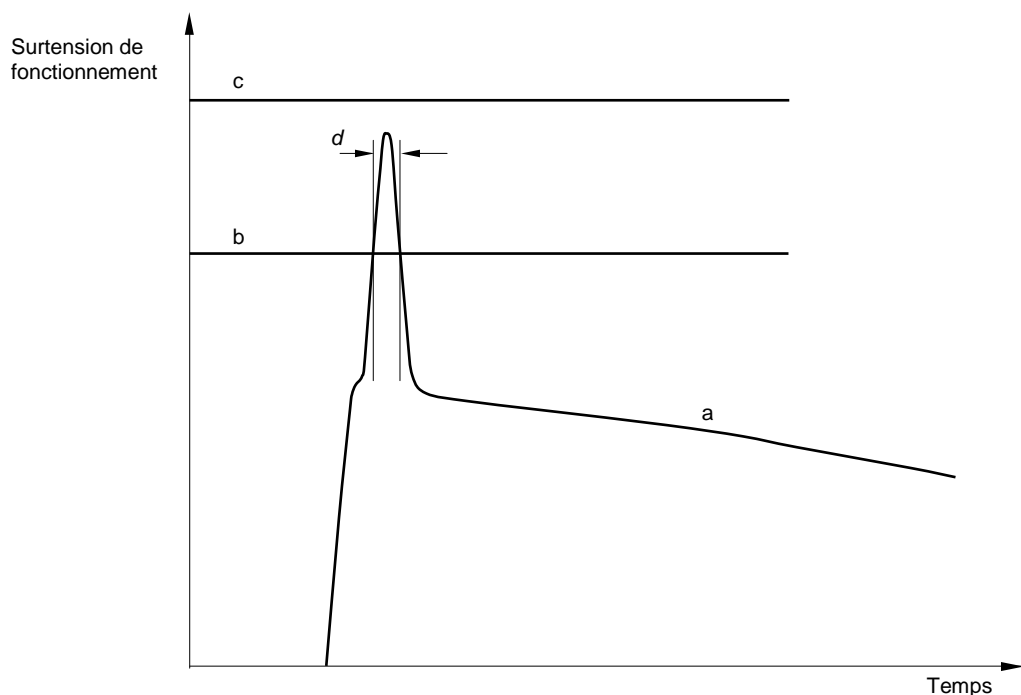
Série I		Série II	
Tension assignée	Valeur maximale de la surtension de fonctionnement	Tension assignée	Valeur maximale de la surtension de fonctionnement
kV	kV	kV	kV
3,6	12	2,75	8
7,2	23	5,5	18
12	38	8,25	26
17,5	55	15	47
24	75	15,5	49
36	112	22	70
40,5	126	25,8	81
52	162	27	84
72,5	226	38	119
		48,3	150
		72,5	226

Tableau 8 – Valeurs maximales admissibles de la surtension de fonctionnement pour certains éléments de remplacement de petits courants assignés

Série I jusque et y compris 3,2 A		Série II jusque et y compris 12 A	
Tension assignée	Valeur maximale de la surtension de fonctionnement (notes de bas de page a et b)	Tension assignée	Valeur maximale de la surtension de fonctionnement (note de bas de page b)
kV	kV	kV	kV
3,6	26	2,75	13
7,2	36	5,5	25
12	50	8,25	38
17,5	63	15	68
24	85	15,5	70
36	120	22 à 25,8	117
		27	123
		38	173

^a Pour les matériels de tensions assignées de la série I, les surtensions de fonctionnement spécifiées au Tableau 8 ne sont admissibles que pour les tensions de tenue assignées aux chocs de foudre de la liste 2 (voir 4.3).

^b Les valeurs des surtensions de fonctionnement peuvent dépasser les limites données au Tableau 7 pour une durée n'excédant pas 200 µs mais ne doivent pas dépasser les limites données au Tableau 8 (voir [Figure 2](#)).



IEC 1968/05

Légende

- a Courbe de la surtension de fonctionnement
- b Limite de la surtension de fonctionnement – [Tableau 7](#)
- c Limite de la surtension de fonctionnement – [Tableau 8](#)
- $d \leq 200 \mu\text{s}$

Figure 2 – Surtensions de fonctionnement admissibles pour les éléments de remplacement de faibles courants assignés ([Tableau 8](#))

4.10 Tension transitoire de rétablissement assignée (TTR assignée)

4.10.1 Généralités

La tension transitoire de rétablissement assignée associée au courant maximal de coupure assigné (conformément à 4.8) est la tension de référence qui constitue la limite supérieure de la tension transitoire de rétablissement présumée des circuits que le fusible doit pouvoir couper lors d'un court-circuit.

Les valeurs normales de la TTR assignée sont indiquées dans les [Tableaux 9](#) et [10](#). Ces valeurs s'appliquent au courant maximal de coupure assigné d'un fusible.

Tableau 9 – Valeurs normales de la TTR assignée – Série I

Tension assignée	Paramètres de base		Valeurs dérivées			
	Valeur de crête de la tension	Temps	Retard ^a	Coordonnée de tension ^b	Coordonnée temporelle ^c	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	0,74

^a $t_d = 0,15 t_3$ pour $U_r \leq 52$ kV
et $t_d = 0,05 t_3$ pour $U_r > 52$ kV

^b $u' = 1/3 u_c$ avec $u_c = 1,4 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

^c $t' = (0,15 + 1/3) t_3$ pour $U_r \leq 52$ kV
et $t' = (0,05 + 1/3) t_3$ pour $U_r > 52$ kV

Tableau 10 – Valeurs normales de la TTR assignée – Série II

Tension assignée	Paramètres de base		Valeurs dérivées			
	Valeur de crête de la tension	Temps	Retard (note de bas de page a)	Tension (note de bas de page b)	Temps (note de bas de page c)	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
2,75	4,7	37	5,5	1,6	18,1	0,127
5,5	9,4	46	6,9	3,1	22,2	0,204
8,25	14,4	54	8,1	4,8	26,1	0,266
15	25,7	66	9,9	8,6	32,0	0,390
15,5	26,6	67	10,0	8,8	32,2	0,400
25,8	44	91	13,6	14,7	44,0	0,48
38	65	111	16,6	21,7	53,6	0,58
48,3	83	127	19,0	27,6	61,2	0,65
72,5	124	168	8,4	41,5	64	0,74

^a $t_d = 0,15 t_3$ pour $U_r \leq 48,3$ kV
et $t_d = 0,05 t_3$ pour $U_r > 48,3$ kV

^b $u' = 1/3 u_c$ avec $u_c = 1,4 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

^c $t' = (0,15 + 1/3) t_3$ 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 ou lorsque les fusibles sont destinés à des installations où les conditions sont plus sévères.

La tension transitoire de rétablissement assignée correspondant au courant maximal de coupure assigné est utilisée pour les essais dont le courant de coupure est égal à la valeur assignée avec la dérogation admise en 6.6.1.2.2. Pour les essais effectués à un courant de coupure inférieur à la valeur assignée, d'autres valeurs de la tension transitoire de rétablissement sont spécifiées (voir 6.6.1.2.3).

4.10.2 Représentation de la TTR

La forme d'onde des tensions transitoires de rétablissement est variable suivant la configuration des circuits réels.

Pour les fusibles tombant dans le domaine d'application de cette norme, 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 constituée par deux segments de droite définis par deux paramètres (tracé de référence) (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. On en tient compte par l'introduction d'un retard.

Cette représentation s'applique à la fois aux tensions transitoires de rétablissement assignées et aux autres tensions transitoires de rétablissement spécifiées qui sont représentées par des tracés de référence à deux paramètres associés à des segments de droite définissant un retard.

4.10.3 Représentation des TTR assignées

On utilise les paramètres suivants pour représenter les TTR assignées (voir [Figure 3](#)):

- u_c : crête de tension de la TTR en kilovolts;
- t_3 : temps pour atteindre la tension u_c en microsecondes.

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).

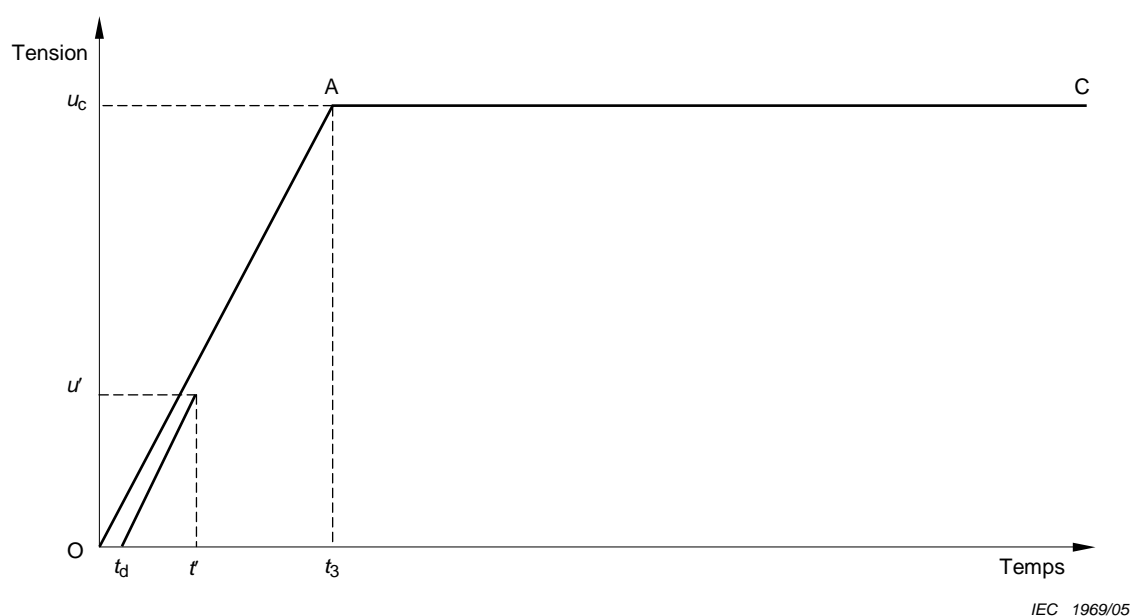


Figure 3 – Représentation d'une TTR spécifiée par un tracé de référence à deux paramètres et par un segment de droite définissant un retard

4.11 Caractéristiques temps-courant

Les caractéristiques temps-courant des éléments de remplacement sont fixés comme suit: le courant est appliqué à un élément de remplacement neuf et sans charge préalable placé dans un socle spécifié par le constructeur, raccordé au circuit d'essai au moyen de conducteurs ayant les dimensions et les longueurs spécifiées en 6.5.1.2.

Sauf spécification contraire, les caractéristiques temps-courant doivent être jugées applicables à une température ambiante de 20 °C.

Le constructeur doit fournir des courbes déterminées à partir des résultats obtenus lors des essais de vérification de la caractéristique temps-courant spécifiés en 6.7.2.

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.

NOTE Il est recommandé d'utiliser, si possible, les valeurs 2,8 et 5,6.

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 on prend des valeurs moyennes, la tolérance ne doit pas dépasser $\pm 20\%$. Si on prend des valeurs minimales, la tolérance ne doit pas dépasser $+50\%$;
- le type et les caractéristiques assignées de l'élément de remplacement auquel les courbes s'appliquent;
- la zone de temps suivant les spécifications de 6.7.2.2. 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.

Afin de coordonner les fusibles entre eux ou avec d'autres dispositifs de protection, il est permis d'utiliser les caractéristiques temps-courant applicables pour des durées supérieures à 0,1 s.

Lorsque des courants de défaut plus intenses conduisent à un fonctionnement éventuel en des temps inférieurs à 0,1 s, il est permis d'utiliser les données applicables de I^2t de préarc et de I^2t de fonctionnement (voir notes 1 et 2 de 3.1.11).

4.12 Caractéristiques d'amplitude du courant coupé limité

Le constructeur doit indiquer la limite supérieure du courant coupé limité correspondant à chaque valeur de courant présumé coupé jusqu'au courant maximal de coupure assigné du fusible dans les conditions spécifiées lors des essais de coupure en 6.6.

Il doit être précisé si la caractéristique s'applique à 50 Hz ou 60 Hz.

4.13 Caractéristiques I^2t

Le constructeur 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 de la présente norme, 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.

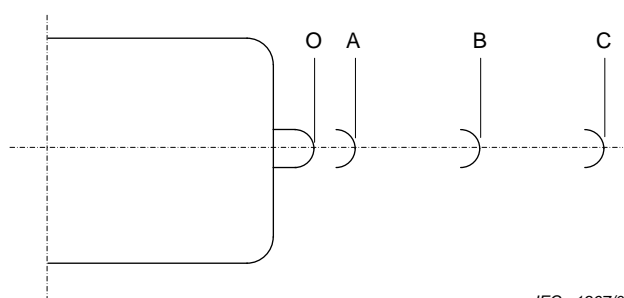
La présentation des valeurs de I^2t peut être faite sous la forme d'un simple tableau ou d'un diagramme (par exemple histogramme) ou peut utiliser une forme graphique avec le courant présumé en abscisse et I^2t en ordonnée, les deux échelles étant logarithmiques aux dimensions préférentielles indiquées en 4.12.

Les valeurs de I^2t déterminées à partir des essais de type de coupure spécifiés en 6.6 ne doivent pas être supérieures (pour I^2t de fonctionnement) ou inférieures (pour I^2t de préarc) aux valeurs fixées par le constructeur.

4.14 Caractéristiques mécaniques des percuteurs

Les percuteurs peuvent être classés suivant la quantité d'énergie qu'ils sont capables de fournir entre deux points spécifiés A et B (voir [Figure 4](#)) de leur course à un appareil mécanique de connexion ou à un dispositif de signalisation et 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'on applique un effort statique externe.

Les caractéristiques mécaniques des percuteurs sont données dans le [Tableau 11](#).



IEC 1967/05

Légende

- OA Course libre – Pas de niveau d'énergie spécifiée
- 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 (si applicable)

Figure 4 – Différentes étapes de la course du percuteur

Tableau 11 – Caractéristiques mécaniques des percuteurs

Type	Energie	Caractéristiques mécaniques					
		Valeurs de la		Course réelle		Effort minimal de maintien	Durée maximale de la course
		Course libre (OA) (note de bas de page a)	Course additionnelle pendant laquelle il faut fournir l'énergie (AB) (note de bas de page a)	Min. (OB) (note de bas de page a)	Max. (OC) (note de bas de page a)		
J	mm	mm	mm	mm	N	ms	
Léger	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 la [Figure 4](#).

^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. L'intervalle minimal de tenue en régime d'arc de 100 ms (4.15.3) est suffisant pour couvrir ces 50 ms plus 50 ms supplémentaires pour tenir compte de la durée de fonctionnement de l'appareil de connexion.

4.15 Exigences spéciales pour les fusibles Associés destinés à être utilisés dans les combinés interrupteurs-fusibles selon l'IEC 62271-105

4.15.1 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 plus petits que 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 5.1.3) pour des courants juste inférieurs au courant minimal de coupure est plus long que le temps d'ouverture de l'interrupteur associé.

4.15.2 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 fusible 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 7.6.2. En cas de série homogène, il suffit de faire l'essai sur le fusible ayant le plus grand courant assigné.

4.15.3 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 au fusible. Le constructeur de 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 donnée en 7.6.3.

5 Conception, construction et performances

5.1 Exigences générales concernant le fonctionnement des fusibles

5.1.1 Généralités

Lorsque les fusibles sont utilisés sur des réseaux dont la tension de service est inférieure à leur tension, le courant maximal de coupure en kiloampères 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 surtension 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 plus petits que ceux spécifiés dans les essais de coupure indiqués en 6.6 pour vérifier le fonctionnement du fusible en ce qui concerne son aptitude à supporter le courant de toutes les combinaisons possibles temps-courant, sans détérioration conduisant soit à un fonctionnement prématuré, soit à une défaillance (voir IEC TR 62655:2013).

5.1.2 Conditions normales d'utilisation

Les essais spécifiés dans la présente norme sont destinés à démontrer l'aptitude à l'emploi d'un fusible dans les conditions suivantes:

- la composante alternative du courant n'est pas supérieure au courant maximal de coupure assigné;
- la composante alternative d'un courant que le fusible est destiné à interrompre n'est pas inférieure au:
 - courant minimal de coupure assigné pour un fusible Associé;
 - courant qui provoque la fusion en 1 h pour un fusible d'Usage Général;
 - courant assigné pour un fusible à Coupure Intégrale;
- la température environnante n'est pas supérieure à la température d'application maximale (TAM) dans le cas d'un fusible à Coupure Intégrale ayant une TAM assignée (sans restriction de courant faible);

- la tension réseau la plus élevée n'est pas supérieure à la tension assignée de l'élément de remplacement, s'il est utilisé sur un réseau triphasé à neutre mis directement à la terre ou sur un réseau triphasé à neutre mis à la terre par une impédance ou par une résistance faible;
- la tension réseau la plus élevée n'est pas supérieure à 87 % de la tension assignée de l'élément de remplacement, s'il est utilisé sur un réseau triphasé à neutre isolé ou sur un réseau compensé par bobine d'extinction, du fait qu'un double défaut à la terre (l'un du côté alimentation et l'autre du côté charge d'un fusible sur une autre phase) peut se produire;

NOTE 1 Une tension réseau maximale supérieure à 87 % de la tension assignée de l'élément de remplacement est acceptable lorsque des essais supplémentaires ou d'autres essais ont été effectués sur le fusible (voir IEC/TR 62655:2013, 5.1.3.3).

- la tension réseau la plus élevée n'est pas supérieure à 87 % de la tension assignée de l'élément de remplacement, s'il est utilisé sur un réseau monophasé;

NOTE 2 Une tension réseau maximale supérieure à 87 % de la tension assignée de l'élément de remplacement est acceptable lorsque des essais supplémentaires ou d'autres essais ont été effectués sur le fusible (voir IEC/TR 62655:2013, 5.1.3.3).

- la tension transitoire de rétablissement présumée est comprise dans les limites correspondant aux essais spécifiés en 6.6.1.2;
- la fréquence est comprise entre 48 Hz et 62 Hz;
- le facteur de puissance n'est pas inférieur à celui spécifié dans le [Tableau 13](#);
- 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 6.6.1.2.

NOTE 3 En ce qui concerne les caractéristiques de la TTR présumée, la coordonnée temporelle 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 6.6.1.2.2).

Il est considéré que les fusibles sont capables d'interrompre correctement chaque valeur de courant présumé, indépendamment de la composante continue qu'il est possible d'obtenir, à condition que les exigences précédentes aient été satisfaites.

5.1.3 Conditions normales de comportement

Conformément aux conditions d'utilisation indiquées en 5.1.2, le comportement du fusible doit être le suivant.

- a) Un élément de remplacement à remplissage pulvérulent ne doit pas émettre de flamme ni de poudre; 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 prévues pour 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 prévus avec des dispositifs indicateurs ou des percuteurs,
 - 1) les dispositifs indicateurs n'ont pas à répondre à des caractéristiques spécifiées et doivent fonctionner de façon visible et complète;
 - 2) les percuteurs doivent répondre aux caractéristiques spécifiées en 4.14 et fonctionner complètement.
- d) Le fonctionnement ne doit pas provoquer de surtensions de fonctionnement supérieures aux valeurs spécifiées en 4.9.
- e) Les valeurs des courants coupés limités correspondant à chaque valeur de courant présumé coupé ne doivent pas dépasser les valeurs correspondantes de la caractéristique d'amplitude du courant coupé limité données par le constructeur.

- f) Après fonctionnement, le fusible doit pouvoir supporter la tension de rétablissement à fréquence industrielle entre ses bornes.

5.2 Indications à porter sur les plaques signalétiques

Les indications à porter sur les plaques signalétiques des éléments de remplacement et des socles sont données ci-dessous et doivent être inscrites de façon indélébile.

NOTE Lorsque les dimensions physiques de l'élément de remplacement sont trop petites pour permettre d'inclure dans ces indications toutes celles données ci-dessous, d'autres méthodes 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 constructeur ou marque de fabrique;
- tension assignée;
- courant assigné.

b) Sur l'élément de remplacement

- nom du constructeur ou marque de fabrique;
- désignation du type prévue par le constructeur;
- 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 maximale d'utilisation (pour les fusibles conçus pour être utilisés dans un environnement dont la température est supérieure à 40 °C, essayés selon l'Annexe E);
- type du percuteur (léger, moyen ou fort) s'il existe;
- emplacement du percuteur (s'il y a lieu).

S'il y a lieu, on doit indiquer également, sur l'élément de remplacement et sur le socle, s'ils sont conçus pour une utilisation à l'extérieur ou dans l'huile, à moins que cette information ne soit incluse dans la désignation du type ou dans le code d'identification.

5.3 Dimensions

L'Annexe D contient un recueil et une classification des types et dimensions spécifiés dans les différentes normes nationales existantes.

6 Essais de type

6.1 Conditions d'exécution des essais

Les essais de type sont des essais faits pour vérifier qu'un type ou un modèle particulier de fusible est conforme aux caractéristiques spécifiées et fonctionne de façon satisfaisante dans des conditions normales de comportement ou dans des conditions spéciales spécifiées. Les essais de type sont exécutés sur des échantillons pour vérifier les caractéristiques spécifiées pour tous les fusibles du même modèle.

Ces essais ne doivent être répétés que si la construction est modifiée de telle façon qu'elle puisse modifier également le bon fonctionnement.

Les essais effectués sur des éléments de remplacement équipés de percuteurs sont valables pour des éléments de remplacement sans percuteur.

Pour des facilités d'essai, et avec l'accord préalable du constructeur, 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 effectués à des valeurs au moins aussi sévères que celles spécifiées; les limites supérieures sont soumises à l'agrément du constructeur.

Les essais spécifiés dans la présente norme sont, en principe, des essais de type, et les modalités de prélèvement pour les essais de réception ne sont pas données.

Si l'utilisateur désire effectuer des essais de réception, ces essais doivent être choisis parmi les essais de type, après accord entre constructeur et utilisateur.

Lorsque des essais sont effectués sur un fusible dont le rapport des essais de type a déjà été accepté, la responsabilité du constructeur envers l'utilisateur est limitée aux valeurs spécifiées les moins sévères 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 constructeur n'est cependant pas engagé pour des valeurs quelconques de fonctionnement au-delà de 100 % de la tension de rétablissement à fréquence industrielle spécifiée.

6.2 Liste des essais de type

Les essais de type à effectuer après la mise au point d'un modèle, ou à la suite d'une modification affectant le bon fonctionnement sont les suivants:

- essais diélectriques (socle seulement);
- essais d'échauffement et mesurage de la puissance dissipée;
- essais de coupure;
- essais de vérification de la caractéristique temps-courant;
- essais des percuteurs.

6.3 Règles d'essais communes à tous les essais de type

6.3.1 Généralités

Les résultats de tous les essais de type doivent être consignés dans des certificats d'essais de type contenant les indications nécessaires pour démontrer la conformité à cette norme.

Sauf spécification contraire, ce qui suit donne les dispositions communes à tous les essais.

6.3.2 Etat de l'appareil à l'essai

L'appareil doit être neuf, propre et en bon état. Avant d'effectuer les essais – sauf les essais diélectriques et les essais d'étanchéité à l'huile – 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 notée ainsi que la température de l'air ambiant à laquelle le mesurage a été effectué.

6.3.3 Montage des fusibles

Le fusible à l'essai doit être monté sur un châssis métallique rigide mis à la terre, dans la position d'utilisation en service normal.

Sauf spécification contraire, les connexions doivent être disposées de façon à ne pas réduire les distances d'isolement normales.

6.4 Essais diélectriques

6.4.1 Règles d'essais

Les règles d'essais diélectriques doivent être celles spécifiées en 6.3 et comme suit.

NOTE Les éléments de remplacement ne peuvent pas être essayés séparément aussi bien à l'état neuf qu'après fonctionnement.

6.4.1.1 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 constructeur.

6.4.1.2 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.

6.4.2 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 Tableaux 4 et 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.

NOTE 1 Pour les dispositions multipolaires de fusibles

- entre toutes les parties sous tension 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 sous tension des autres pôles étant reliées aux parties métalliques susceptibles d'être mises à la terre.

- b) Entre entrée et sortie: ces essais sont faits 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 imposées au fusible. Si des propriétés de sectionnement sont imposées 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.

NOTE 2 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.

6.4.3 Conditions atmosphériques pendant l'essai

L'essai doit être effectué dans des conditions atmosphériques aussi voisines que possible des conditions normales spécifiées en 11.1 de l'IEC 60060-1.

Les facteurs de correction pour la densité de l'air et l'humidité, tels qu'ils sont indiqués en 11.2.1 et 11.2.2 de l'IEC 60060-1, peuvent être utilisés pour les fusibles jusqu'à plus ample information.

6.4.4 Essais à sec aux chocs de foudre

Les fusibles doivent être soumis à des essais à sec aux chocs de foudre avec des ondes 1,2/50 conformes à la Section 6 de l'IEC 60060-1.

On doit appliquer 15 chocs consécutifs aux valeurs de tension de tenue assignée aux chocs de foudre spécifiées dans les Tableaux 4 et 5, de la façon suivante:

- à la tension de tenue assignée à la masse et entre pôles pour toutes les conditions d'essai a) prescrites en 6.4.2;
- à la tension de tenue assignée à la masse et entre pôles pour la condition d'essai b) prescrite en 6.4.2 si des propriétés de sectionnement ne sont pas assignées au socle;
- à la tension de tenue assignée sur la distance de sectionnement pour la condition d'essai b) prescrite en 6.4.2 si des propriétés de sectionnement sont assignées 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 (voir 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 donnera la plus faible tension d'amorçage, il suffit d'effectuer l'essai uniquement avec cette polarité.

6.4.5 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 permis 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 Tableaux 4 et 5. Les essais doivent être effectués aux valeurs suivantes:

- à la tension de tenue assignée à la masse et entre pôles pour toutes les conditions d'essai a) prescrites en 6.4.2;
- à la tension de tenue assignée à la masse et entre pôles pour la condition d'essai b) prescrite en 6.4.2 si des propriétés de sectionnement ne sont pas assignées au socle;
- à la tension de tenue assignée sur la distance de sectionnement pour la condition d'essai b) prescrite en 6.4.2 si des propriétés de sectionnement sont assignées au socle.

S'il se produit un contournement ou une perforation, le fusible doit être considéré comme n'ayant pas satisfait à l'essai.

6.4.6 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 6.4.5, sauf en ce qui concerne la durée de l'essai qui est de 1 min. 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 faisant un angle de 45° avec la verticale, les modalités d'essais étant conformes à celles indiquées dans l'Article 9 de l'IEC 60060-1.

6.5 Essais d'échauffement et mesurage de la puissance dissipée

6.5.1 Règles d'essais

Les essais d'échauffement et de mesurage de la puissance dissipée doivent être effectués sur un fusible conformément aux indications de 6.3 et comme décrit ci-après.

6.5.1.1 Echantillon d'essai

Le socle doit être tel que spécifié par le constructeur de l'élément de remplacement à l'essai.

L'élément de remplacement doit avoir le courant assigné maximal utilisable dans le socle.

6.5.1.2 Disposition de l'appareil

L'essai doit être fait dans une salle fermée, pratiquement exempte de courants d'air, exception faite de ceux provoqués par l'échauffement du dispositif en essai.

Le fusible dans l'air doit être monté en respectant les instructions données par le constructeur, dans la position la plus défavorable, et il doit être raccordé au circuit d'essai par des conducteurs en cuivre nu de la façon suivante: 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 12](#).

**Tableau 12 – Branchement électrique au circuit d'essai –
Dimensions des conducteurs**

Courant assigné de l'élément de remplacement (note de bas de page a) A	Section des conducteurs en cuivre nu (note de bas de page 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
<p>^a Pour les éléments de remplacement en parallèle, le courant assigné à prendre en compte est le courant total fixé par le constructeur.</p> <p>^b La section équivalente en MCM (milliers de milles circulaires) peut être obtenue en multipliant par deux les nombres figurant dans la deuxième colonne.</p>	

Les éléments de remplacement destinés à être utilisés dans l'appareillage et immergés dans l'huile doivent être essayés dans une cuve remplie d'huile, 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 à l'essai. L'élément de remplacement doit être immergé de façon que l'huile soit également répartie 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 12](#).

Il n'est pas nécessaire de respecter les distances d'isolement normales.

Les essais doivent être faits au courant assigné de l'élément de remplacement et à une fréquence comprise entre 48 Hz et 62 Hz. Chaque essai doit être fait pendant une période suffisamment longue pour que l'échauffement atteigne une valeur constante (cette condition est considérée comme pratiquement réalisée 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 dans l'Article 4.

6.5.2 Mesurage de la température

6.5.2.1 Température des éléments du fusible

La température des différentes parties pour lesquelles des limites sont spécifiées doit être déterminée par des dispositifs tels que thermocouples, thermomètres ou 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, proche du composant (soit dans le liquide qui refroidit le composant).

Pour les mesurages effectués avec des thermomètres ou des thermocouples, les précautions suivantes doivent être prises.

- a) Les réservoirs des thermomètres ou les thermocouples doivent être protégés contre le refroidissement venant de l'extérieur (laine sèche et propre, etc.). La surface protégée doit cependant être négligeable vis-à-vis de la surface de refroidissement de l'appareil à l'essai.
- b) Une bonne conductivité thermique entre le thermomètre ou le thermocouple et la surface de la partie à l'essai doit être assurée.
- c) Lorsque des thermomètres à réservoir sont employés à des endroits où existent des champs magnétiques variables, il est recommandé d'employer des thermomètres à alcool de préférence aux thermomètres à mercure, ces derniers pouvant être influencés dans ces conditions.

6.5.2.2 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, au moyen d'au moins trois thermomètres, thermocouples ou autres dispositifs capteurs de température disposés régulièrement autour du fusible à environ la hauteur moyenne des éléments traversés par le courant et à une distance d'environ 1 m du fusible. 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 n'est faite pour des températures de l'air ambiant comprise dans ces limites.

6.5.3 Mesurage de la puissance dissipée

Il peut être nécessaire de déclasser les fusibles utilisés sous enveloppes (voir IEC/TR 62655:2013, 5.1.1.2 et Annexe A). La puissance dissipée doit être mesurée pour faciliter ce déclassement, de la façon suivante.

- a) Le mesurage de la puissance dissipée peut être fait au cours de 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. Le mesurage doit être fait lorsque la puissance dissipée (la température) a atteint une valeur stable pour la valeur de courant considérée. La puissance dissipée est exprimée en watts.

NOTE Cette exigence ne s'applique qu'aux fusibles destinés à être utilisés sous enveloppe. Pour les autres fusibles, voir 7.1 et 7.3.

- b) Les constructeurs d'appareillage et les utilisateurs qui incorporent des fusibles dans leurs appareillages peuvent tenir compte des valeurs de puissance dissipée pour déterminer les facteurs de déclassement pour les différents types de fusibles adaptés à leurs appareillages. La valeur de puissance dissipée n'est pas le seul paramètre définissant les facteurs de déclassement.

6.6 Essais de coupure

6.6.1 Règles d'essais

Les règles d'essais de coupure doivent être celles spécifiées en 6.3 et comme décrites ci-après.

6.6.1.1 Description des essais à effectuer

Les essais doivent être effectués conformément aux instructions données dans le [Tableau 13](#) 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 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 plus bas)

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 d'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.

Essais I_4 : pour les éléments de remplacement présentant un ou des courants de recouvrement (voir 6.6.1.3).

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), il faut ajouter aux suites d'essais 1, 2 et 3 ci-dessus 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 dispositif 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 pour évaluer le respect de cette exigence sont traités à l'Annexe G.

Des exigences supplémentaires relatives aux essais de coupure pour les éléments fusibles conçus pour être utilisés dans un environnement où la température est supérieure à 40°C sont traitées à l'Annexe E.

Les valeurs I_1 , I_2 , I_3 et I_t sont les valeurs efficaces de la composante c.a. du courant.

Si lors de l'exécution des essais de la suite d'essais 2, toutes les conditions requises pour la suite d'essais 1 sont complètement remplies 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 à l'intensité de coupure maximale I_1 . Les séries d'essais 1 et 2 doivent alors être remplacés par six essais à l'intensité maximale de coupure avec des angles d'enclenchement répartis le plus équitablement possible avec environ 30 degrés électriques entre chacun. (Les paramètres utilisés seront ceux de la suite d'essai 2 (voir [Tableau 13](#)) à l'exception de l'angle d'enclenchement 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 possible, l'essai spécifié avec un début d'arc compris entre 40° et 65° après le zéro de tension est remplacé 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 fusibles de tous les calibres de courants d'une série homogène; voir 6.6.4 pour les exigences à satisfaire et les essais à réaliser.

Une série homogène peut également être approuvée sans essai de coupure par interpolation entre les résultats des essais des séries homogènes apparentées d'éléments fusibles de tensions assignées supérieures et inférieures; voir 6.6.5 pour les exigences à satisfaire.

NOTE A titre indicatif, la valeur du courant I_2 satisfaisant à cette spécification peut être déterminée par l'une ou l'autre des méthodes suivantes.

- a) A partir de l'équation suivante, si un essai avec un courant au moins égal à 150 fois le courant assigné a été fait au cours de la suite d'essais 1 avec un début de court-circuit en régime symétrique:

$$I_2 = I_1 \sqrt{\frac{I_1}{I_1}}$$

où

I_2 est le courant présumé de la suite d'essais 2;

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) En prenant trois à quatre fois le courant auquel correspond un temps de préarc d'une demi-période sur la caractéristique temps-courant (voir 6.7 et 4.11). S'il existe une caractéristique temps-courant pour des temps virtuels inférieurs à une demi-période, il est préférable d'utiliser le courant correspondant sur cette caractéristique temps-courant à un temps de 0,08 demi-période normale.

Tableau 13 – Essais de coupure – Paramètres

Paramètres	Suite d'essais		
	1 (note de bas de page a)	2	3
Tension de rétablissement à fréquence industrielle	(0,87 x tension assignée) $\begin{matrix} +5 \\ 0 \end{matrix}$ %		Tension assignée $\begin{matrix} +5 \\ 0 \end{matrix}$ %
Caractéristiques de la TTR présumée	Voir 6.6.1.2		Pas de valeur spécifiée
Facteur de puissance	De 0,07 à 0,15 (note de bas de page b)		0,4 à 0,6
Courant présumé (valeur efficace de la composante périodique)	I_1 $\begin{matrix} +5 \\ 0 \end{matrix}$ %	I_2	I_3 $\begin{matrix} 0 \\ -10 \end{matrix}$ % (note de bas de page c)
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	Quelconque
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 (note de bas de page d)	
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 seront pratiquement remplies au moins une fois en effectuant les essais indiqués.

b Lorsque le constructeur est d'accord, la limite la plus basse ne s'applique pas.

c Lorsque l'installation de la station d'essais ne permet 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.

d Pour un élément fusible 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'essai 2: pour les types: Associé, d'Usage Général et à Coupure Intégrale
Suite d'essai 3: pour les types: d'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 interrupteur-fusible (déclenchement par le perceur).

6.6.1.2 Caractéristiques du circuit d'essai

6.6.1.2.1 Généralités

Les essais de coupure doivent être faits 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 indiqué aux Figures 7 et 8. On ne doit pas utiliser de réactances susceptibles d'être saturées.

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. Lorsqu'une distorsion est inévitable, elle ne doit pas être assez importante pour nécessiter une tension aux bornes du circuit ouvert supérieure à 107 % de la tension correspondant à la tension de rétablissement requise pour les suites d'essais 1 et 2 spécifiées en 6.6.1.1.

Un système de mesure ayant une réponse en fréquence adéquate doit être prévu pour mesurer la surtension de fonctionnement pendant les suites d'essais 1, 2 et 4. 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 surtensions de fonctionnement utilisée dans le circuit d'essai doit être réalisée de telle façon qu'aucun amorçage 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.

L'onde de la tension transitoire de rétablissement présumée du circuit d'essai doit être conforme aux deux exigences suivantes:

Exigence a): son enveloppe ne doit jamais être située en dessous du tracé de référence spécifié.

NOTE Il est précisé que l'accord du constructeur est nécessaire pour fixer de combien l'enveloppe peut dépasser le tracé de référence spécifié (voir le quatrième alinéa de 6.1).

Exigence b): sa partie initiale ne doit pas traverser le segment de droite spécifié définissant le retard (éventuellement).

La Figure 5 illustre ces exigences.

Les valeurs normales des tracés de référence et des segments de droite spécifiées définissant le retard pour les diverses suites d'essais sont celles qui suivent.

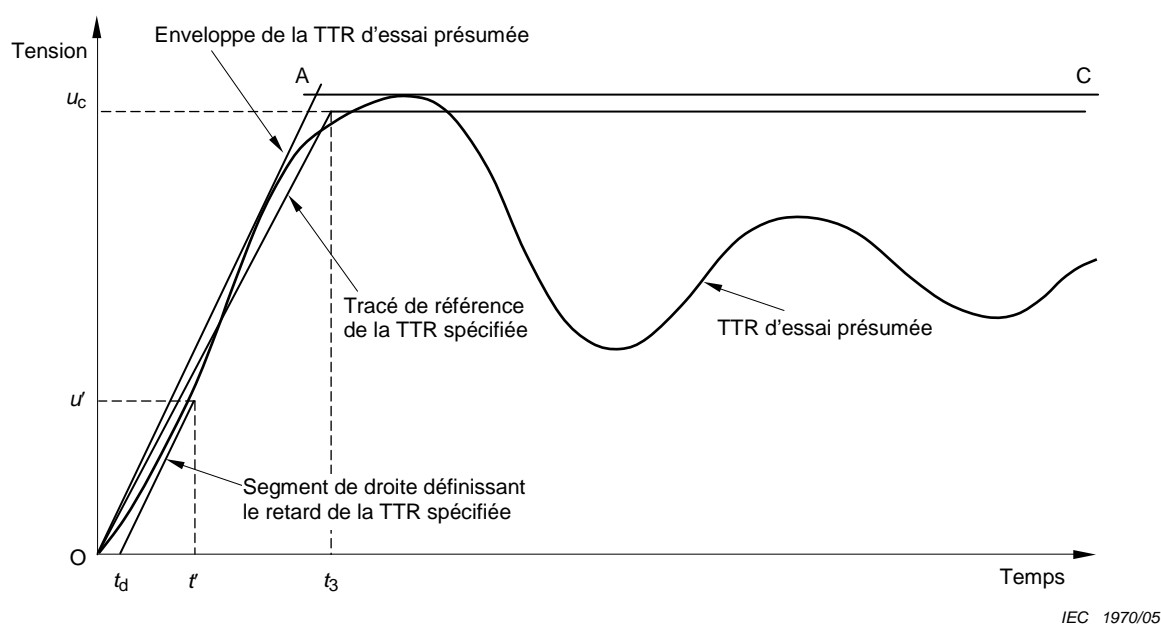


Figure 5 – Exemple d'une TTR d'essai présumée comportant une enveloppe à deux paramètres et répondant aux conditions imposées pour l'essai de type

6.6.1.2.2 TTR pour suite d'essais 1

En principe, les essais sont effectués avec les valeurs normales de la TTR spécifiées en 4.10. Cependant, comme indiqué dans l'Annexe B, les fusibles limiteurs de courant ne sont pas sensibles aux caractéristiques de la TTR sauf lorsqu'on atteint une tension d'arc très élevée immédiatement après le début de l'arc. En conséquence, et pour des facilités d'essai, on peut effectuer les essais comme décrit ci-après.

Un premier essai sera effectué 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 sera 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 en 4.10 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 faits sur ce nouveau circuit.

6.6.1.2.3 TTR pour suite d'essais 2

Les essais doivent être effectués avec les valeurs de TTR présumée spécifiées dans les Tableaux 14 et 15 (voir Annexe B).

L'onde de la TTR présumée du circuit d'essai doit être conforme aux spécifications 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 1 Le segment de droite définissant le retard n'est pas spécifié étant donné que la partie initiale de la TTR est sans importance pour le comportement de fusible (voir Annexe B).

NOTE 2 Il peut être difficile d'obtenir les coordonnées de temps spécifiées, particulièrement pour les fusibles dont le courant d'essai I_2 est petit. 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 – Série I

Tension assignée	Paramètres de base		Vitesse d'accroissement
	Valeur de crête de la tension	Temps	
U_r	u_c (note de bas de page a)	t_3	u_c/t_3
kV	kV	μs	kV/ μs
3,6	6,6	120 – 160	0,055 – 0,041
7,2	13,2	156 – 208	0,084 – 0,063
12	22	180 – 240	0,122 – 0,091
17,5	32	216 – 288	0,148 – 0,111
24	44	264 – 352	0,167 – 0,125
36	66	324 – 432	0,203 – 0,152
40,5	74	345 – 460	0,214 – 0,160
52	96	396 – 528	0,242 – 0,181
72,5	133	504 – 672	0,265 – 0,199

^a $u_c = 1,5 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

Tableau 15 – TTR pour la suite d'essais 2 – Série II

Tension assignée	Paramètres de base		Vitesse d'accroissement
	Valeur de crête de la tension	Temps	
U_r	u_c (note de bas de page a)	t_3	u_c/t_3
kV	kV	μs	kV/ μs
2,75	5	111 – 148	0,045 – 0,033
5,5	10	138 – 184	0,072 – 0,054
8,25	15,4	162 – 216	0,095 – 0,071
15	27,5	198 – 264	0,138 – 0,104
15,5	28,4	201 – 268	0,141 – 0,106
25,8	47	273 – 364	0,172 – 0,129
38	69,5	333 – 444	0,208 – 0,156
48,3	89	381 – 508	0,233 – 0,175
72,5	133	504 – 672	0,265 – 0,199

^a $u_c = 1,5 \times 1,5 \times \sqrt{2/3} U_r$

6.6.1.2.4 TTR pour 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.

6.6.1.3 Essai I_t (pour les fusibles 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

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

quand I_t est la valeur du courant de recouvrement donnée par le constructeur du fusible.

S'il est connu que ces valeurs ne représentent pas le cas le plus défavorable pour ce type de construction de fusible, le constructeur peut fournir d'autres valeurs pour I_{t1} et I_{t2} .

Les paramètres à utiliser pour effectuer 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 au [Tableau 13](#) 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 fréquence de rétablissement 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 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 fusible, de manière à représenter les valeurs types constatées dans les circuits pour lesquels l'élément fusible est approprié, sur la base des courants d'essais nécessaires. Des instructions concernant les valeurs appropriées de la TTR peuvent être obtenues à partir des normes d'essai applicables à d'autres dispositifs de coupure conçus pour être utilisés dans des circonstances similaires.

Les essais doivent être réalisés 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 doivent être fournies par le fabricant. Les critères types utilisés pour évaluer le respect de cette exigence sont traités à l'Annexe G.

6.6.1.4 Echantillons

L'élément de remplacement doit être essayé sur un socle tel que spécifié par le constructeur de l'élément de remplacement.

6.6.1.5 Disposition de l'appareil

6.6.1.5.1 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 indiquée 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 efforts mécaniques excessifs 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 pliage 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 essayé en position verticale sauf s'il est reconnu que la position horizontale est la plus sévère, auquel cas le fusible doit être essayé horizontalement.

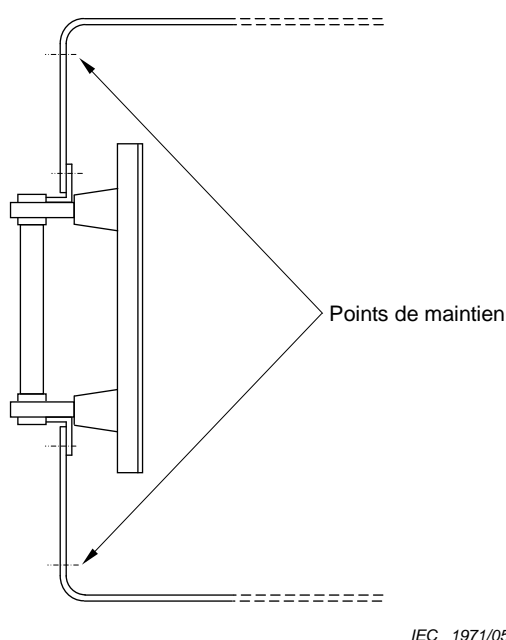


Figure 6 – Essais de coupure – Disposition de l'appareil

6.6.1.5.2 Fusibles destinés à être utilisés dans l'appareillage à huile

Les suites d'essais 1, 2, 3, et I_t peuvent être effectuées dans l'air ou dans une cuve remplie d'huile. Etant donné que les essais dans l'air sont plus contraignants que dans l'huile, les essais dans l'air ne peuvent être substitués aux essais dans l'huile que suite à l'accord du constructeur de fusible. Dans le cas d'une non-coupure, ces essais peuvent être répétés avec les fusibles installés dans une cuve remplie d'huile en utilisant une disposition de conducteurs appropriée dans cette cuve. La cuve remplie d'huile 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.

6.6.2 Modalités d'essai

6.6.2.1 Etalonnage du circuit d'essai

Le fusible ou l'élément de remplacement à l'essai doit être remplacé par une barrette d'impédance négligeable comme indiqué dans les Figures 7 et 8.

Le circuit doit être ajusté pour donner le courant présumé spécifié. Cela doit être vérifié par un enregistrement oscillographique ou similaire.

NOTE 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.

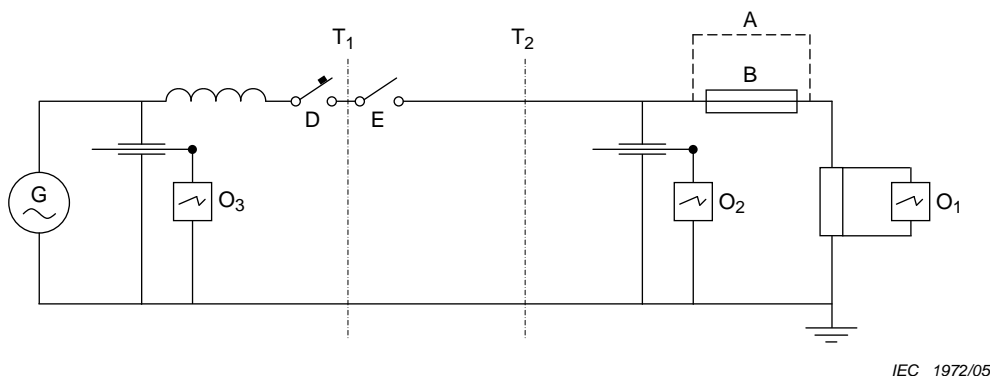
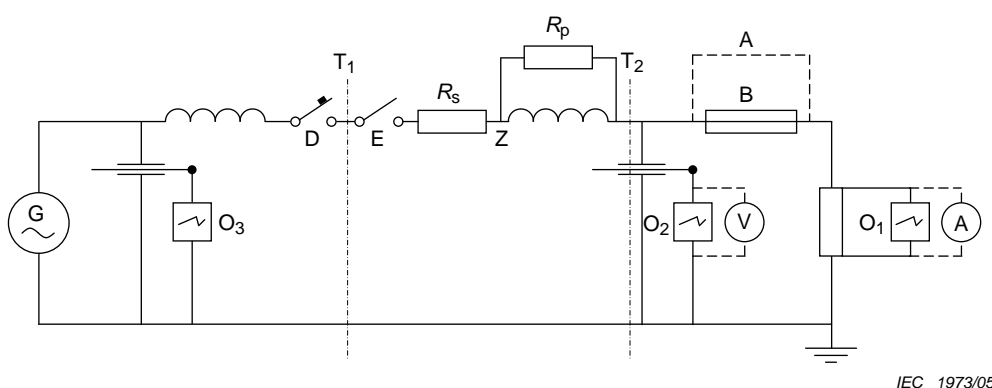


Figure 7 – Essais de coupure – Schéma type pour les suites d'essais 1 et 2



Légende pour les Figures 7 et 8

A	Connexion amovible utilisée pour l'étalonnage	O ₃	Mesurage de la tension de référence
B	Fusible à l'essai	T ₁ – T ₂	Emplacements possibles du transformateur
D	Disjoncteur protégeant la source	Z	Impédance réglable
E	Court-circuit	R _P	Résistance parallèle réglable
O ₁	Mesurage du courant	R _S	Résistance série réglable
O ₂	Mesurage de la tension de rétablissement		

Figure 8 – Essais de coupure – Schéma type pour la suite d'essais 3

6.6.2.2 Méthode d'essai

La barrette A est enlevée et remplacée par le fusible ou l'élément de remplacement B à l'essai.

Le court-circuiteur E est fermé à un instant tel que les conditions spécifiées dans le [Tableau 13](#) soient remplies.

Pour les suites d'essais 1, 2, 3 et I_t les surtensions de fonctionnement doivent être mesurées. Pour les suites d'essais 1 et 2, les courants coupés limités doivent être déterminés.

Au cours des essais de la suite d'essais 3, le courant peut être mesuré au moyen d'un ampèremètre à la place ou en plus d'un enregistrement oscillographique, ou par un système de mesure similaire.

Après le fonctionnement du fusible, la tension de rétablissement doit être maintenue à ses bornes pendant les durées spécifiées dans le [Tableau 13](#). Les quelques premières périodes

doivent être enregistrées par un oscillographe ou un système similaire tandis que les suivantes peuvent être lues sur un voltmètre.

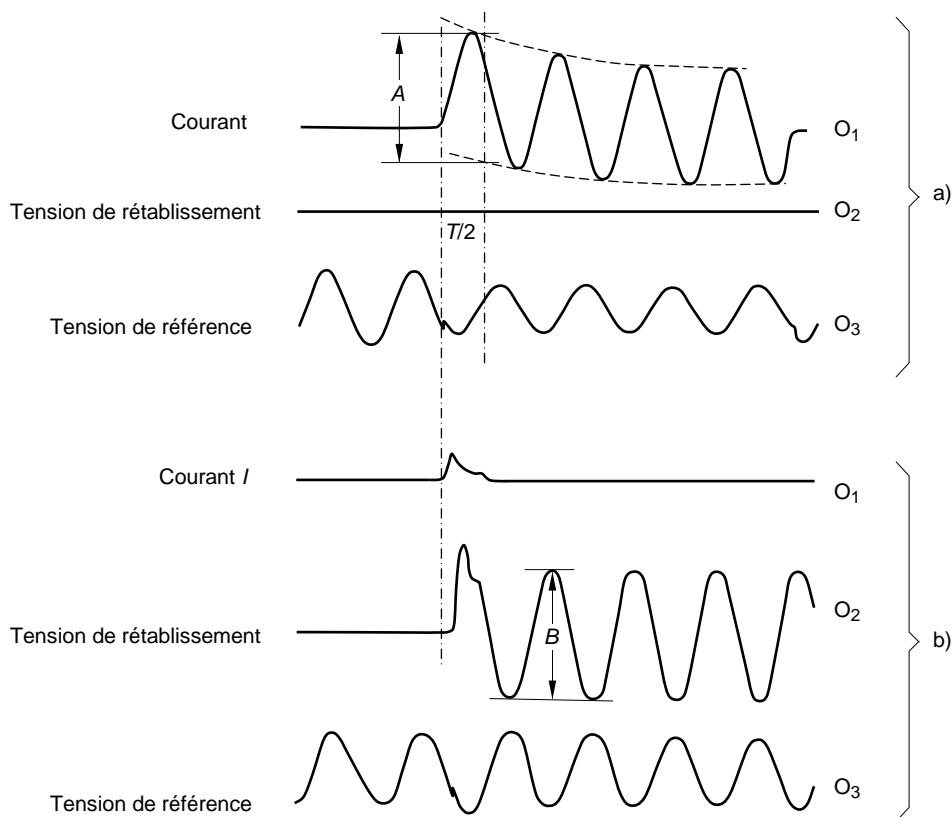
Au cours de cette période, la fréquence industrielle peut tomber au-dessous de la valeur minimale spécifiée.

6.6.2.3 Interprétation des oscillogrammes

Pour les suites d'essais 1 et 2, le courant présumé coupé 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 Figures 9 et 10).

Pour la suite d'essais 3 et les essais avec I_t , le courant coupé doit être la valeur efficace de la composante périodique du courant, 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 Figures 9, 10 et 11).



IEC 1974/05

Légende

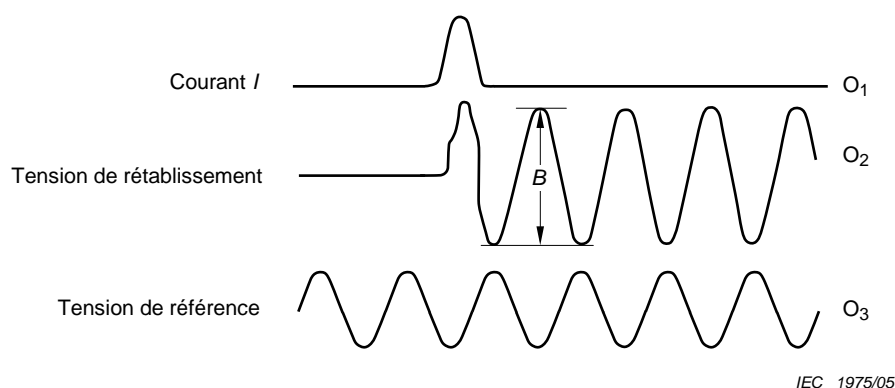
- O₁ Mesure du courant
- O₂ Mesure de la tension de rétablissement
- O₃ Mesure de la tension de référence
- a) Etalonnage
- b) Essai de coupure

Valeur efficace de la composante périodique du courant présumé coupé $I = \frac{A}{2\sqrt{2}}$

Tension de rétablissement $U = \frac{B}{2\sqrt{2}}$

NOTE Les Figures 9, 10 et 11 sont des illustrations; les courants ne sont pas représentés avec la même échelle.

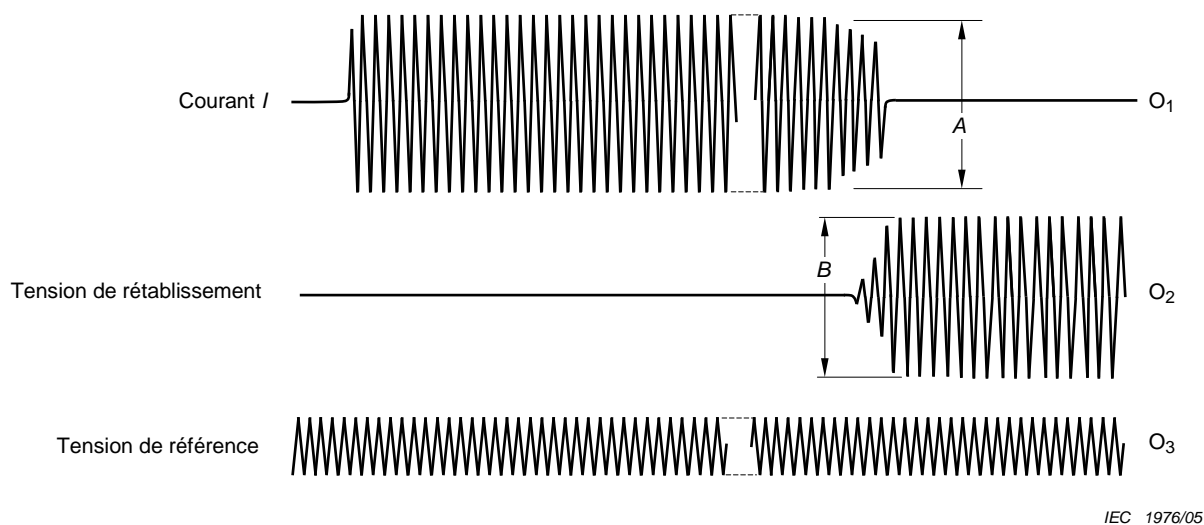
Figure 9 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes pour la suite d’essais 1



Légende

- O₁ Mesurage du courant
- O₂ Mesurage de la tension de rétablissement
- O₃ Mesurage 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 Mesurage du courant
- O₂ Mesurage de la tension de rétablissement
- O₃ Mesurage de la tension de référence

Figure 11 – Essais de coupure – Interprétation des oscillogrammes de la suite d’essais 3

6.6.2.4 Paramètres à utiliser au cours des essais

Les paramètres à utiliser au cours des essais sont donnés dans le [Tableau 13](#).

Si un essai est effectué dans des conditions plus sévères que celles spécifiées et s'il est satisfaisant, cet essai doit être valable.

6.6.3 Variantes de la méthode d'essais pour la suite d'essais 3

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 fusion 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 requis se fasse avant l'apparition de l'arc.

6.6.3.1 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 désiré 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 décrit en 6.6.1.2.

La valeur du courant de la source à haute tension est le courant I_3 tel que défini en 6.6.1.1.

- c) Un dispositif manuel ou automatique permettant de commuter au moment désiré 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, le passage d'une source à l'autre doit se produire 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 constructeur, 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.

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 6.6.3.2).

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.

6.6.3.2 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 un temps minimal de fusion de 1 h est requis, 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 la valeur de I_3 doit être 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 par 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'un temps de fusion d'au moins 1 h soit respecté.

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.

6.6.4 Essais de coupure pour les éléments de remplacement d'une série homogène

6.6.4.1 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 monotone¹ 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 le ou les éléments fusibles et l'enveloppe doit être une fonction monotone² 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.

6.6.4.2 Conditions 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: une 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

Suite d'essais	Éléments de remplacement à essayer (les croix indiquent les essais à effectuer)		
	A	B	C
1	X		X
2 (note de bas de tableau a)	X (note de bas de tableau c)		X
3 (note de bas de tableau b)	X (note de bas de tableau d)	X (note de bas de tableau d)	X
<p>a Les courants d'essai I_2 des éléments de remplacement A et C seront choisis en fonction des courants assignés respectifs de ces éléments de remplacement.</p> <p>b Il est recommandé que l'élément de remplacement du plus petit courant assigné comprenne au moins deux éléments fusibles individuels principaux en plus de l'élément éventuel utilisé pour le fonctionnement du perceur.</p> <p>c Cet essai n'est exigé que si la section des éléments fusibles individuels est inférieure à celle des éléments de remplacement C.</p> <p>d Cet essai n'est exigé que si le rapport I_3/s de l'un quelconque 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.</p>			

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.

6.6.4.3 Interprétation des essais de coupure

Si les essais effectués selon le [Tableau 16](#) donnent les résultats conformes aux exigences de 5.1.3, 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 5.1.3 au cours d'une ou de plusieurs séries d'essais, cet élément 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 constructeur doit fournir des valeurs de courant minimal de coupure pour les éléments de remplacement 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 du courant minimal de coupure pour les autres courants assignés dans la même série homogène peuvent être déterminés par le calcul selon la règle que la densité de courant par élément fusible principal (rapport I_3/s) aux valeurs assignées du courant minimal de coupure doit être égale ou supérieure à celle de l'élément de remplacement C.

6.6.5 Qualification par interpolation d'une série homogène d'éléments de remplacement

Si deux séries homogènes X et Z de tensions assignées différentes U_X et U_Z ont été essayées avec succès, une troisième série Y de tension assignée intermédiaire U_Y n'a pas, en principe, à être essayée 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 essayés.
- 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 censée 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 censée 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 essayés, par interpolation linéaire en fonction de la tension assignée déjà essayée.

6.6.6 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 essayée, on estime qu'il n'est pas nécessaire d'essayer les versions d'enveloppes plus longues à condition que les exigences ci-dessous soient satisfaites.

Les caractéristiques de coupure déclarées et les caractéristiques assignées fondées sur des essais effectués sur une série homogène selon 6.6.2. et 6.6.4 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 essayée ne dépasse pas 1,6 fois la longueur de la gamme essayée 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 essayé de la série.
- b) La gamme non essayée est conforme en tous points à 6.6.4.1 sauf la longueur de l'enveloppe.
- c) Le courant assigné maximal de gamme non essayée n'excède pas celui de la gamme essayée et le plus petit courant assigné de la gamme non essayée n'est pas inférieur à celui de la gamme essayée.

6.7 Essais de vérification de la caractéristique temps-courant

6.7.1 Règles d'essais

Les règles d'essais doivent être celles spécifiées en 6.3 ainsi que celles citées ci-après.

6.7.1.1 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.

6.7.1.2 Disposition de l'appareil

Les essais doivent être faits avec la même disposition de l'appareil que pour les essais d'échauffement (voir 6.5.1.2), s'ils sont effectués séparément ou avec la disposition utilisée pour les essais de coupure (voir 6.6.1.5).

6.7.2 Méthode d'essai

Les essais de vérification de la caractéristique temps-courant doivent être effectués comme suit.

6.7.2.1 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 maintenu à une valeur sensiblement constante.

Les caractéristiques temps-courant obtenues lors des essais de coupure peuvent être utilisées.

6.7.2.2 Gamme de temps

Les essais doivent être faits dans les gammes de temps suivantes:

- fusibles Associés: de 0,01 s à 600 s;
- fusibles d'Usage Général et fusibles à Coupure Intégrale: de 0,01 s à 1 h. Pour les fusibles à Coupure Intégrale, il convient que la gamme de temps s'étende de préférence au-delà de 1 h.

6.7.2.3 Mesurage 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.

6.7.2.4 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.

6.8 Essais des percuteurs

6.8.1 Généralités

Ces essais sont destinés à vérifier que le percuteur est capable de fournir l'énergie spécifiée dans le [Tableau 11](#) même dans les conditions de service qui impliquent de faibles valeurs de courant ou de tension. Les essais de 6.8.3 sont également destinés à prouver que l'intervention du percuteur est suffisamment rapide pour assurer le fonctionnement correct des combinés interrupteurs-fusibles déclenchés par percuteur.

L'énergie d'un percuteur déclenché par un ressort peut être soit vérifiée pendant les essais de fonctionnement au moyen d'un pendule soit mesurée après les essais à partir de la caractéristique effort-course (voir 6.8.4.1). L'énergie d'un percuteur déclenché par une charge explosive doit être mesurée au cours des essais de fonctionnement au moyen d'un pendule.

L'effort de maintien des percuteurs des types moyen et fort (voir [Tableau 11](#)) doit être vérifié après les essais de fonctionnement.

6.8.2 Percuteurs à essayer

Les éléments de remplacement utilisés pour les essais de percuteur doivent avoir le courant assigné le plus grand et/ou la puissance dissipée la plus élevée dans la gamme de fusibles utilisant un type donné de système de percussion.

Lorsqu'un système de percussion (comprenant un percuteur et un fil résistant en série) est commun à une ou à plusieurs gammes données d'éléments de remplacement², il suffit de faire les essais sur un élément de remplacement de tension assignée quelconque pour s'assurer du fonctionnement des percuteurs dans toute la ou les gammes. Les résultats sont valables pour les éléments de remplacement d'autres tensions assignées lorsque le même système de percussion est utilisé pourvu que les longueurs du fil résistant soient sensiblement proportionnelles aux tensions assignées des éléments de remplacement.

6.8.3 Essais de fonctionnement

Les éléments de remplacement utilisés pour les essais de percuteurs doivent tout d'abord être placés dans un circuit à basse tension et on leur applique un courant tel que les éléments fusibles principaux fondent. La tension doit être suffisamment basse pour ne pas détériorer les circuits du percuteur des éléments de remplacement. La valeur du courant d'essai doit être telle qu'elle donne une durée de préarc qui ne soit pas inférieure à 20 min.

NOTE La partie préparatoire des essais de fonctionnement spécifiés peut ne pas convenir pour les percuteurs équipés d'un relais thermique complémentaire. Un déclenchement thermique prématuré du percuteur peut empêcher la poursuite normale de l'essai tel qu'il est spécifié. Des spécifications d'essai appropriées pour couvrir ce cas ne sont pas encore spécifiées.

Les essais a) et b) doivent ensuite être exécutés sans retard intentionnel sur ces éléments de remplacement dont les éléments fusibles principaux sont fondus:

Essai a): Courant d'essai: ≤ 10 A
Tension d'essai: non spécifiée

Essai b): Tension d'essai: $\leq 0,075 U_r$
Courant d'essai: non spécifié

où U_r est la tension assignée des éléments de remplacement.

Le facteur de puissance du circuit d'essai peut avoir toute valeur convenable.

Trois échantillons doivent être essayés selon l'essai a) et trois selon l'essai b).

Lorsqu'il est possible de combiner les essais a) et b), trois échantillons seulement au total ont besoin d'être essayés.

6.8.4 Résultats à obtenir au cours des essais

6.8.4.1 Généralités

Pour les essais a) et b), la course de percuteur, la quantité d'énergie délivrée au cours de la course réelle et l'effort de maintien doivent se situer dans les limites spécifiées au [Tableau 11](#).

Pour l'essai b), la durée de la course mesurée ne doit pas dépasser la valeur spécifiée dans le [Tableau 11](#).

² Le percuteur, le matériau et la section du fil résistant sont identiques dans tous les cas, seule la longueur du fil résistant peut varier.

6.8.4.2 Essai relatif à l'énergie

Lorsque l'énergie est mesurée à partir de la caractéristique effort-course, ce mesurage doit être effectué après les essais de fonctionnement comme suit: les efforts du ressort F_A et F_B correspondant respectivement au début et à la fin de la course additionnelle AB indiquée dans la Figure 4 doivent être mesurés sur un échantillon et l'énergie calculée à partir de la formule:

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

où F_A et F_B sont exprimés en newtons et AB en millimètres.

Lorsque l'énergie est mesurée au moyen d'un pendule, ce mesurage doit être effectué au cours de l'essai de fonctionnement a) comme suit.

Il est recommandé d'utiliser un pendule tel que celui décrit dans l'ISO 148-2, mais avec les plus faibles valeurs d'énergie et de vitesse de choc spécifiées dans l'ISO 179. En particulier, il convient d'utiliser les machines du type 4 J pour essayer les percuteurs moyens et forts, et les machines du type 0,5 J pour essayer les percuteurs légers.

Le marteau de la machine d'essai est muni d'une plaque plane en acier de dureté minimale Vickers HV 235 et de dimension suffisante, perpendiculaire à la trajectoire du percuteur.

Après sa course libre spécifiée, le percuteur doit frapper le marteau au repos sur sa surface plane. La trajectoire du percuteur doit passer par le centre de percussion de la machine et doit être perpendiculaire à un plan défini par ce centre de percussion et par l'axe d'oscillation du pendule.

6.8.4.3 Essai relatif à l'effort de maintien

Pour les percuteurs des types moyen et fort, l'effort de maintien doit être vérifié sur trois échantillons après avoir effectué les essais de fonctionnement a) et b). Cet essai consiste à appliquer un effort statique égal à l'effort minimal de maintien assigné dans l'axe du percuteur et à vérifier que la course résiduelle de celui-ci n'est pas inférieure à la course réelle maximale spécifiée OB (voir Figure 4).

6.9 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Les fusibles tombant dans le domaine d'application de cette norme 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 surtension de fonctionnement obtenues aux essais de type ne dépassent pas celles indiquées dans les Tableaux 7 et 8 de cette norme.

7 Essais spéciaux

7.1 Généralités

Les essais spéciaux sont effectués pour vérifier qu'un type ou un modèle particulier de fusible est conforme aux caractéristiques spécifiées et se comporte de façon satisfaisante dans des conditions spéciales spécifiées. Ils sont exécutés sur des échantillons pour vérifier les caractéristiques spécifiées pour tous les fusibles du même modèle.

Ces essais ne doivent être répétés que si la construction est modifiée de façon qu'elle puisse modifier également le bon comportement.

Pour des facilités d'essai, et avec l'accord préalable du constructeur, les valeurs prescrites pour les essais, notamment les tolérances, peuvent être modifiées dans le sens qui accroît la sévérité des essais.

Sauf spécification contraire, les essais doivent être effectués suivant les règles spécifiées en 6.3 et comme suit.

7.2 Liste des essais spéciaux

Les essais suivants sont des essais à effectuer après accord entre constructeur et utilisateur pour certains types de fusibles ou pour certaines utilisations spéciales:

- essai de résistance aux variations brusques de température (pour les fusibles prévus pour être utilisés à l'extérieur);
- essai de puissance dissipée, pour les fusibles dont l'utilisation sous enveloppes n'est pas prévue (les autres fusibles doivent faire cet essai en tant qu'essai de type);
- essai d'étanchéité (pénétration d'humidité) pour les fusibles destinés à être utilisés à l'extérieur;
- essai d'échauffement en condition de préarc pour les fusibles Associés destinés aux combinés interrupteurs-fusibles;
- essai de tenue du fusible en condition d'arc pour les fusibles Associés destinés aux combinés interrupteurs-fusibles;
- essai d'étanchéité à l'huile.

Les résultats de tous ces essais doivent être consignés dans des certificats d'essai contenant les indications nécessaires pour démontrer la conformité à cette norme.

7.3 Essais de chocs thermiques

7.3.1 Echantillons d'essais

Le socle doit être tel que spécifié par le constructeur de l'élément de remplacement à l'essai.

NOTE Si des éléments de remplacement de divers courants assignés ne diffèrent que par leurs éléments fusibles, il suffit d'essayer l'élément de remplacement ayant la puissance dissipée la plus élevée.

7.3.2 Mise en place de l'équipement

Le fusible doit être monté suivant les instructions données par le constructeur et raccordé au circuit d'essai par des conducteurs en cuivre nu ayant les dimensions spécifiées au [Tableau 12](#).

7.3.3 Méthode d'essai

Le fusible est parcouru pendant 1 h par un courant de valeur déterminée par accord entre le constructeur et l'utilisateur, inférieur ou égal au courant assigné. Le fusible est alors soumis à une pluie artificielle faisant un angle d'environ 45 degrés avec la verticale, à une température ne dépassant pas celle de la pièce et ayant un débit d'environ 3 mm/min. Cette aspersion doit durer 1 min tandis que le courant d'essai est maintenu.

Le fusible ne doit présenter aucun signe visible extérieur de détérioration.

7.4 Essais de puissance dissipée pour les fusibles dont l'utilisation sous enveloppes n'est pas prévue

Ces essais doivent être effectués dans les conditions spécifiées en 6.5.

7.5 Essai d'étanchéité (pénétration d'humidité)

7.5.1 Conditions d'essai

La vérification de l'étanchéité (pénétration d'humidité) est effectuée en immergeant l'échantillon dans un bain d'eau comportant un produit mouillant. Le volume d'eau doit être au moins égal à 10 fois le volume de l'échantillon.

7.5.2 Echantillon d'essai

L'échantillon d'essai est un élément de remplacement représentatif de son type. Trois éléments de remplacement doivent être essayés.

7.5.3 Méthode d'essai

Chaque échantillon (à la température de la pièce entre 15 °C et 35 °C) doit être immergé pendant 5^{+0}_{-1} min dans le bain à température comprise entre 70 °C et 80 °C.

Aucune bulle ne doit s'échapper de la surface de l'échantillon après disparition des bulles provoquées par l'immersion initiale.

7.6 Essai pour les fusibles Associés destinés aux combinés interrupteurs-fusibles selon l'IEC 62271-105

7.6.1 Généralités

Des essais adaptés sont requis pour que le constructeur de fusible puisse donner les informations nécessaires au fabricant d'appareillage ou à l'utilisateur final.

7.6.2 Essai d'échauffement en condition de préarc

Le but est de déterminer la température maximale qui peut être atteinte en tout point du fusible et pour toute valeur de courant de préarc.

Pour chaque série homogène, le fusible ayant le plus grand courant assigné doit être testé.

Les fusibles sont disposés comme pour l'essai d'échauffement de 6.5 sauf qu'il suffit de placer un capteur de mesure en contact avec le corps du fusible au milieu de sa longueur.

Le fusible est soumis à un essai de préchauffage avec un courant donnant un temps de fusion de 20 min, ce qui correspond aux conditions où le corps atteint généralement la température la plus haute. En pratique, un essai donnant un temps de fusion de 15 min à 25 min est acceptable. La température la plus haute atteinte est enregistrée. Cela intervient normalement juste après la fusion du fusible.

Dans le cas de fusibles équipés de percuteurs thermiques, le courant d'essai doit être interrompu dès que le percuteur a fonctionné, et la température la plus élevée doit être enregistrée.

Pendant cette séquence d'essais, le fusible doit rester physiquement intact et sans dommages comme décrit en 5.1.3.

7.6.3 Temps d'arc admissible

Il convient que le temps d'arc admissible soit au minimum de 0,1 s.

Quand une telle valeur est obtenue pendant la suite d'essais 3 de 6.6, cette valeur de la suite d'essais 3 peut être considérée comme preuve d'atteinte de la performance.

Quand la valeur de durée d'arc de la suite d'essais 3 est inférieure à 0,1 s, alors deux essais supplémentaires doivent être effectués conformément à 6.6 pour la suite d'essais 3 mais sans exigence de TTR et avec

- un courant d'essai donnant un temps d'arc d'au moins 0,1 s;
- une valeur de courant supérieure à 70 % du courant minimal de coupure tel que défini en 3.1.20.

Quand il peut être démontré que le percuteur thermique fonctionne pour les courants inférieurs à I_3 avant l'apparition de l'arc, alors l'essai de temps d'arc n'est pas requis.

7.7 Essais d'étanchéité au liquide isolant

7.7.1 Généralités

Deux séquences d'essai sont spécifiées pour démontrer la capacité d'étanchéité aux liquides des fusibles dédiés aux applications qui utilisent des fusibles destinés à être immergés dans un liquide isolant. La première méthode (7.7.2) est destinée aux applications dans lesquelles la source de chaleur principale dans une enveloppe est le fusible lui-même (par exemple, appareillage). La seconde méthode (7.7.3) est destinée aux applications dans lesquelles d'autres matériels (par exemple, enroulements de transformateur) produisent la plus grande partie de la chaleur dans l'enveloppe. Les exigences d'essai sont basées sur des méthodes d'essai historiques qui se sont révélées adaptées en service.

L'huile minérale est utilisée habituellement pour ces essais, mais il est admis que d'autres liquides isolants, par exemple, fluide de silicone, et des esters naturels et synthétiques, peuvent être utilisés dans ces applications. L'expérience a montré que si les essais sont effectués avec une huile isolante classique, les résultats sont généralement valables pour tous les liquides isolants inertes par rapport au système d'étanchéité des fusibles. Le constructeur doit spécifier quels sont les liquides appropriés pour l'essai et le rapport d'essai doit indiquer le liquide utilisé pour les essais.

Si plusieurs calibres qui diffèrent uniquement en raison de leurs éléments fusibles sont à évaluer, il suffit de soumettre à essai l'élément de remplacement dont la dissipation d'énergie est la plus élevée.

Pour les essais qui spécifient un courant, une tolérance de –5 % à +0 % est à appliquer.

NOTE L'attention est attirée à la mise en œuvre des précautions appropriées lorsque l'on utilise des liquides à une température proche de leur température d'inflammation.

7.7.2 Essais d'étanchéité aux liquides pour les applications de type appareillage

Les éléments de remplacement des fusibles limiteurs de courant conçus pour être utilisés immergés dans un liquide isolant, et où la source de chaleur principale est le fusible lui-même, doivent être soumis à l'essai comme suit.

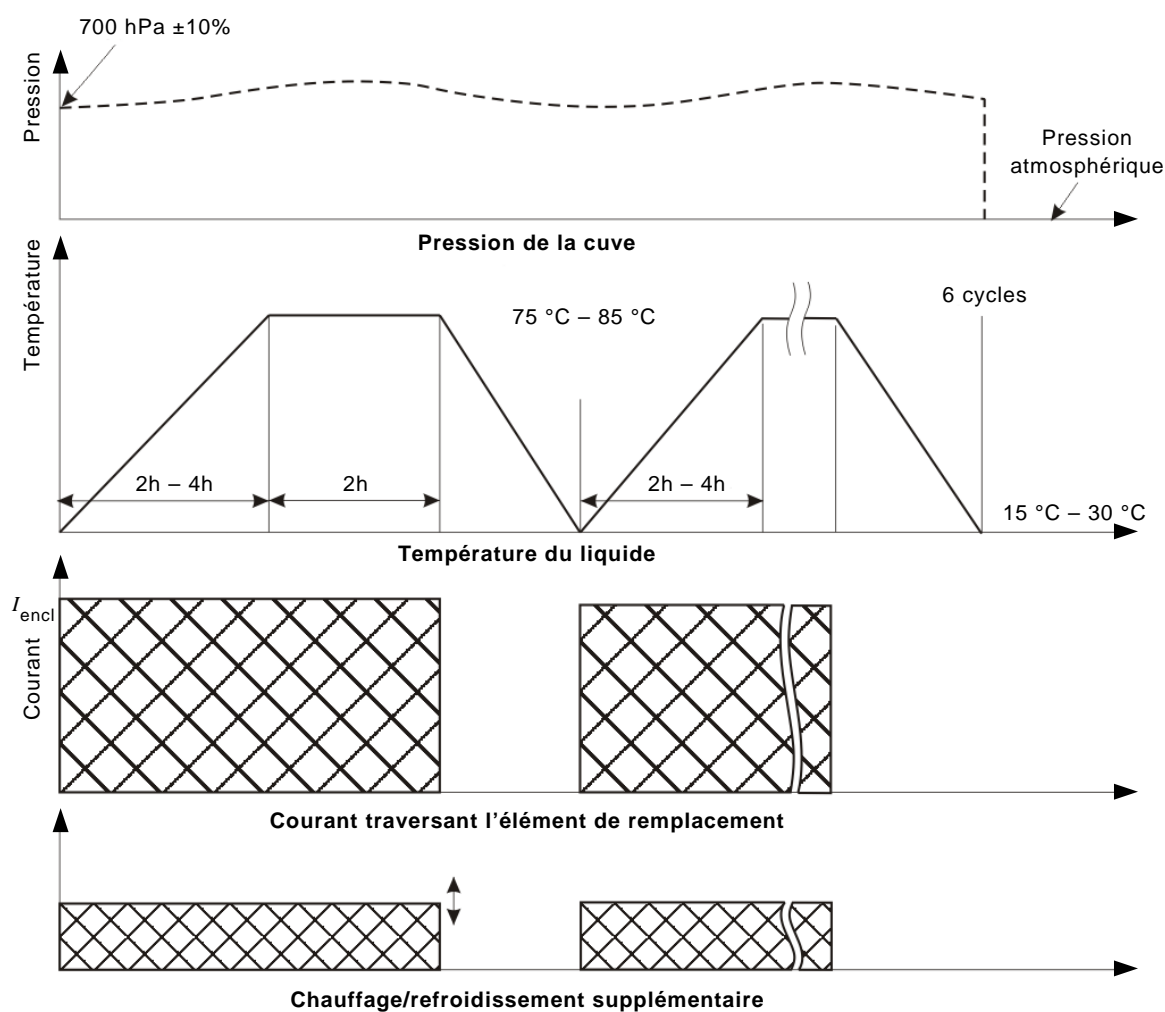
L'élément de remplacement doit être immergé dans un liquide isolant à une pression de 700 hPa \pm 10 % (au-dessus de la pression atmosphérique).

Un courant égal au courant permanent maximal admissible de l'élément de remplacement I_{encl} à une température de 80 °C (voir IEC/TR 62655:2013, Annexe A) doit le traverser, et le liquide doit être porté à une température comprise entre 75 °C et 85 °C. Ceci doit être réalisé dans un délai de 2 h à 4 h. La température doit être maintenue dans cette plage pendant une période d'essai supplémentaire de 2 h, avec le courant traversant le fusible. Un chauffage et/ou refroidissement supplémentaire du liquide et/ou de son contenant sont normalement nécessaires pour atteindre et/ou maintenir la température de liquide exigée.

Si une température d'application maximum (TAM) supérieure à 85 °C est assignée à un élément de remplacement soumis à essai conformément à l'Annexe E, la température du liquide isolant doit alors être augmentée jusqu'à une température au moins équivalente à la TAM assignée à l'élément de remplacement. Le courant traversant l'élément de remplacement doit être équivalent au courant permanent maximal autorisé I_{encl} pour cette température (voir IEC/TR 62655:2013, Annexe A).

Le courant doit être coupé, la source de chauffage supplémentaire éventuelle interrompue et le liquide refroidi ou laissé à refroidir, à une température de 15 °C à 30 °C pendant une quelconque période adéquate.

Ce cycle doit être effectué six fois et la pression de la cuve doit alors être relâchée. L'élément de remplacement doit ensuite être retiré du liquide, nettoyé extérieurement et ouvert à des fins de contrôle de la matière utilisée pour l'extinction de l'arc qui ne doit présenter aucun signe de pénétration de liquide. Voir la Figure 12 pour une représentation de la séquence d'essai.



IEC 1934/14

Figure 12 – Séquence d'essai pour les applications de type appareillage

7.7.3 Essais d'étanchéité aux liquides pour les applications de type transformateur

7.7.3.1 Généralités

Si un élément de remplacement est destiné à une application dans une cuve de transformateur de distribution remplie d'isolant liquide, une température d'essai de 115 °C ou de 140 °C doit être assignée (115 °C pour la pratique européenne et 140 °C pour la pratique nord-

américaine). Il n'est pas nécessaire de soumettre à l'essai décrit en 7.7.2 un fusible soumis à essai selon 7.7.3 pour démontrer l'étanchéité aux liquides. Pour les applications à température élevée, où la source de chaleur n'est pas un enroulement de transformateur, il convient de choisir la température la plus appropriée (115 °C ou 140 °C).

Au cours des essais de cycle détaillés en 7.7.3, il convient que la vitesse de variation de la température de l'élément de remplacement ne soit pas supérieure à 0,5 °C/min et il convient de prendre des mesures pour éviter tout choc thermique.

Le constructeur doit fournir des informations concernant la température assignée (115 °C ou 140 °C).

7.7.3.2 Essai de cycle thermique dans un liquide

L'élément de remplacement doit être immergé dans un liquide isolant et la température du liquide doit être réduite à –30 °C (+0 °C, –5 °C). Un cycle complet consiste à porter la température du liquide à 115 °C (+5 °C, –0 °C) ou à 140 °C (+5 °C, –0 °C), puis à la ramener à –30 °C. Lorsque la température du liquide atteint 115 °C ou 140 °C, un courant égal au courant permanent maximal autorisé de l'élément de remplacement I_{encl} pour une température de 115 °C ou 140 °C (voir IEC/TR 62655:2013, Annexe A) doit traverser le fusible pendant 2 h. Pendant cette période de 2 h, la température du liquide doit être maintenue à 115 °C /140 °C (+5 °C, –0 °C). La durée comprise entre un extrême de température et l'autre doit correspondre à toute valeur appropriée telle que limitée par la vitesse de variation de la température spécifiée en 7.7.3.1. Le cycle peut être interrompu pendant toute période appropriée lorsque la température du liquide est de 20 °C (+10 °C, –10 °C). Une période de maintien à –30 °C (+0 °C, –5 °C) pendant au moins deux heures doit être prévue. Le courant qui traverse le fusible peut être utilisé comme source de chaleur supplémentaire pendant la partie " chauffage " du cycle.

Voir la Figure 13 pour une représentation de la séquence d'essai.

Ce cycle doit être effectué dix fois avec cinq éléments de remplacement du modèle à évaluer. Les éléments de remplacement doivent être retirés du liquide isolant, nettoyés extérieurement et ouverts à des fins de contrôle de la matière utilisée pour l'extinction de l'arc, qui ne doit présenter aucun signe de pénétration de liquide. Il convient de noter que plusieurs éléments de remplacement peuvent être soumis à l'essai simultanément dans la même cuve remplie de liquide et, pour le dernier cycle, il est nécessaire de réduire la température de l'élément de remplacement uniquement à la température ambiante.

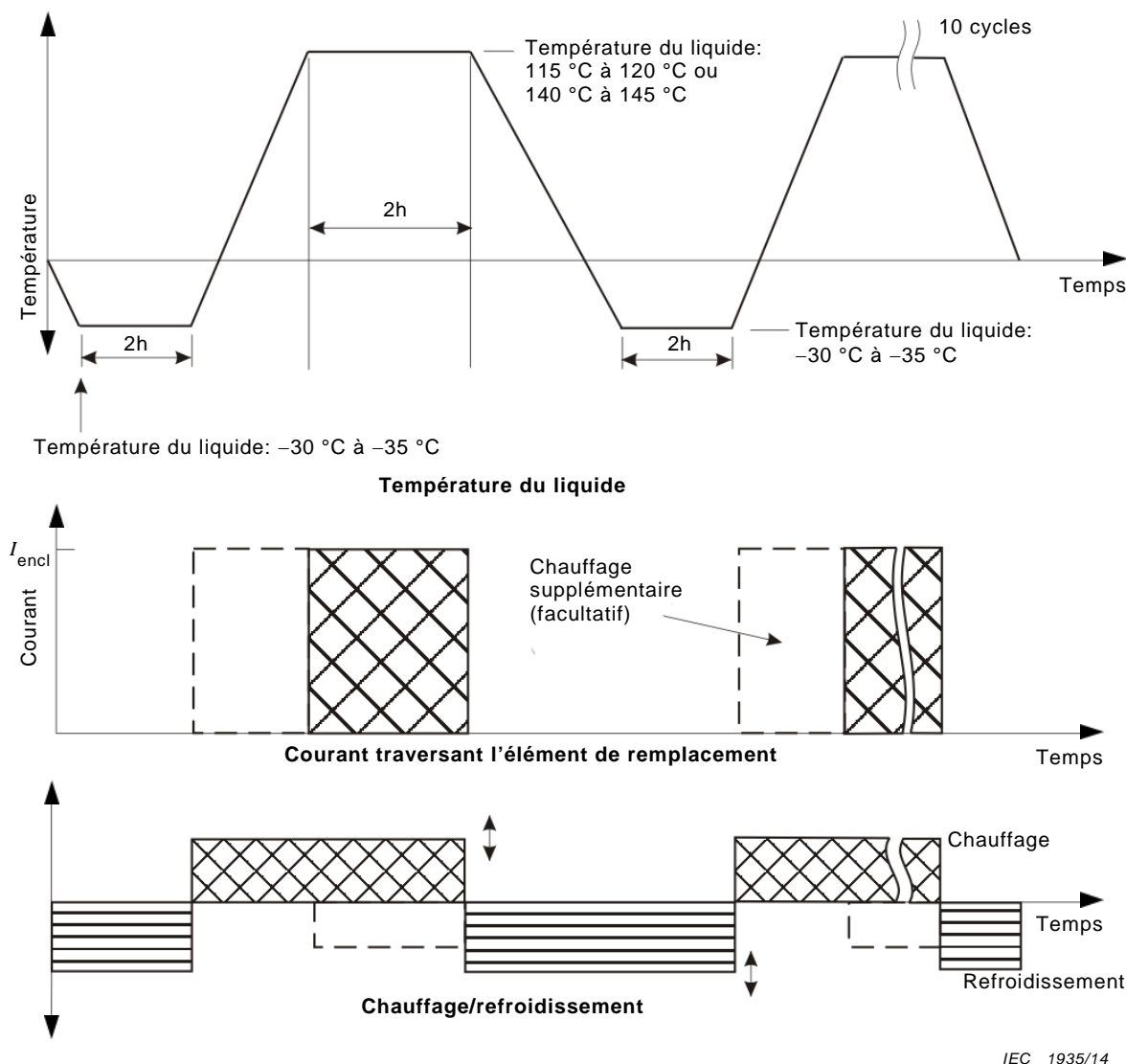


Figure 13 – Séquence d'essai pour l'essai combiné pour les applications de type transformateur

7.7.3.3 Essais de substitution

Si la pratique ne permet pas d'effectuer les essais aisément comme cela est spécifié en 7.7.3.2, ceux-ci peuvent être divisés en deux parties, la série d'essais a) étant effectuée avant la série d'essais b) comme suit:

a) Essai dans l'air

L'élément de remplacement étant placé dans l'air, sa température est réduite à -30 °C (+0 °C, -5 °C). Un cycle complet consiste à porter la température de l'élément de remplacement à 115 °C (+5 °C, -0 °C) ou à 140 °C (+5 °C, -0 °C), puis à la ramener à -30 °C (+0 °C, -5 °C). La durée applicable à chaque cycle thermique comprise entre un extrême de température et l'autre doit correspondre à toute valeur appropriée telle que limitée par la vitesse de variation de la température spécifiée en 7.7.3.1, avec une période de maintien à chaque extrême de température d'au moins deux heures. Le cycle peut être interrompu pendant toute période appropriée lorsque la température de l'élément de remplacement est de 20 °C (+10 °C, -10 °C). Le courant qui traverse le ou les fusibles peut être utilisé comme source de chaleur supplémentaire pendant le cycle de chauffage. Voir la Figure 14 pour une représentation de la séquence d'essai.

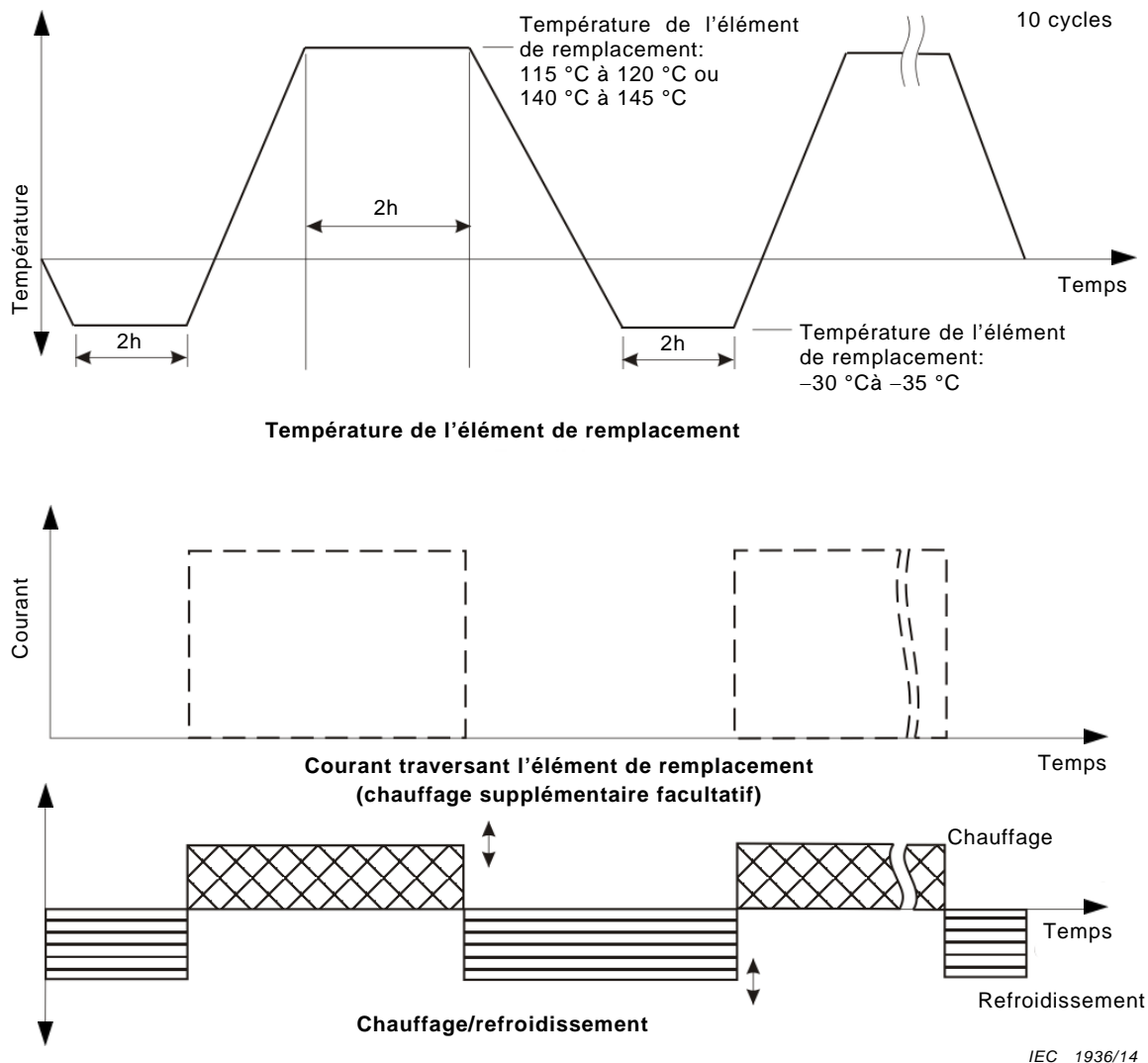


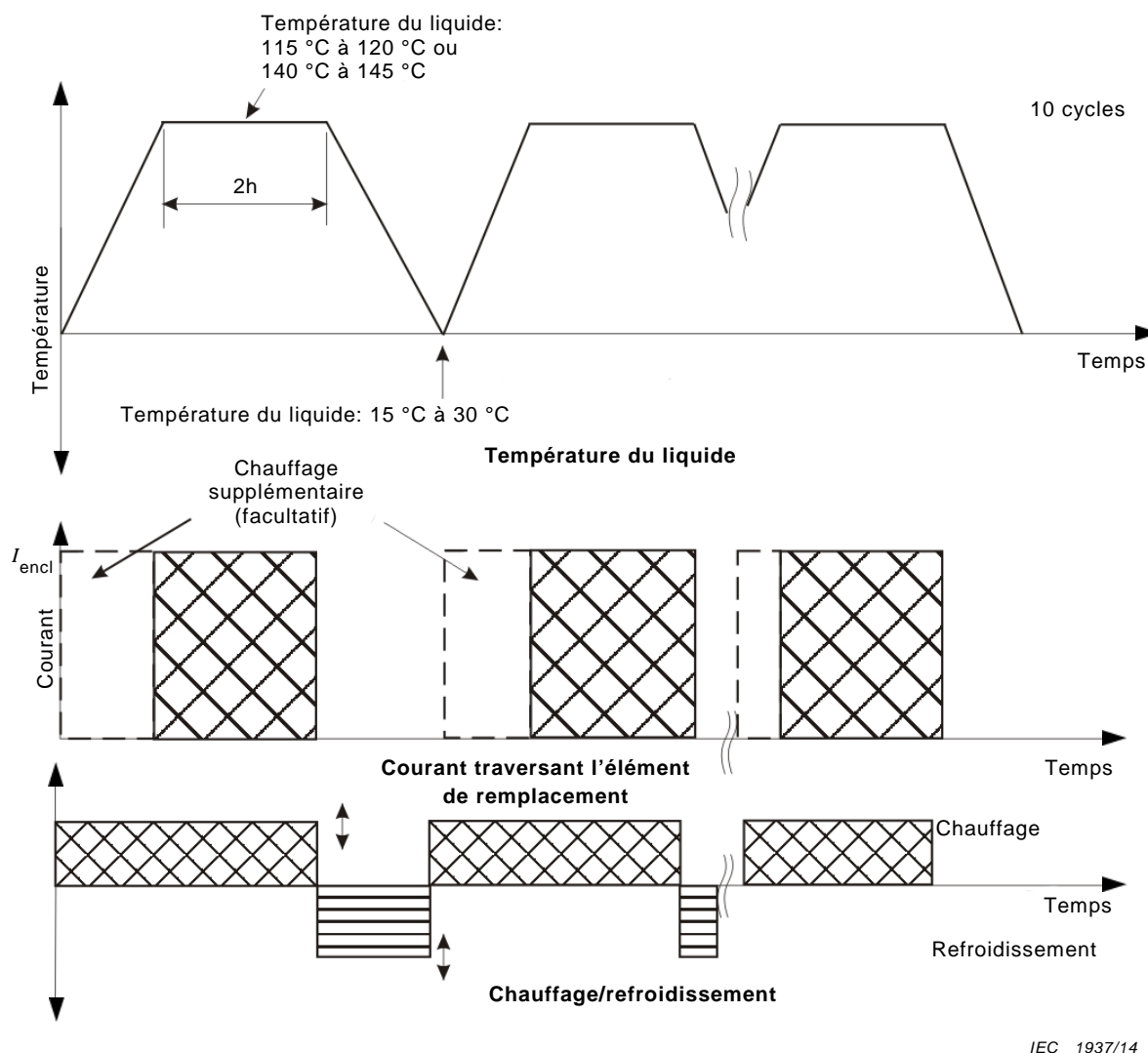
Figure 14 – Séquence d'essai pour la série a) essai pour les applications de type transformateur

b) Essais dans un liquide isolant

Chaque élément de remplacement de la série d'essais a) doit être immergé dans un liquide isolant. Un cycle complet consiste à porter la température du liquide à 115 °C (+5 °C, -0 °C) ou à 140 °C (+5 °C, -0 °C), puis à la ramener à une température comprise entre 15 °C et 30 °C. Lorsque la température du liquide isolant atteint la température d'essai, un courant égal au courant permanent maximal autorisé de l'élément de remplacement I_{encl} pour une température de 115 °C ou 140 °C (voir IEC/TR 62655:2013, Annexe A) doit traverser le fusible pendant 2 h. Pendant cette période de 2 h, la température du liquide doit être maintenue à 115 °C /140 °C (+5 °C, -0 °C). La durée comprise entre un extrême de température et l'autre peut correspondre à toute valeur appropriée. Le cycle peut être interrompu pendant toute période appropriée lorsque la température du liquide est comprise entre 15 °C et 30 °C. Le courant qui traverse le ou les fusibles peut être utilisé comme source de chaleur supplémentaire pendant la partie "chauffage" du cycle. Voir la Figure 15 pour une représentation de la séquence d'essai.

Les deux séries d'essais doivent comprendre dix cycles avec cinq éléments de remplacement du modèle à évaluer. Il convient de noter que plusieurs éléments de remplacement peuvent être soumis à essai dans la même série d'essais simultanément, et pour le dernier cycle de la série a), il est nécessaire de réduire la température de l'élément de remplacement uniquement à la température ambiante.

Les éléments de remplacement doivent être retirés du liquide, nettoyés extérieurement et ouverts à des fins de contrôle de la matière utilisée pour l'extinction de l'arc, qui ne doit présenter aucun signe de pénétration de liquide isolant.



IEC 1937/14

Figure 15 – Séquence d'essai pour la série b) essai pour les applications de type transformateur

8 Essais individuels de série

Les dispositions concernant les valeurs de résistance à froid ou d'autres données appropriées des essais individuels de série sur les éléments fusibles doivent être convenues entre le fabricant du fusible et l'utilisateur.

9 Guide d'application

Pour les informations d'application, voir les parties de l'Article 5 de l'IEC/TR 62655:2013 qui sont applicables aux fusibles limiteurs de courant.

Explication: Au cours de la rédaction de cet amendement à la Publication 60282-1, éd.7.0, son Article 9 Guide d'application a également été soumis à certaines modifications. Le contenu technique de cet Article 9 modifié a été entre temps intégré à l'Article 5 de l'IEC/TR 62655, Guide explicatif et d'application pour les fusibles à haute tension, publiée en mai 2013. D'où la décision de supprimer le contenu de l'Article 9 dans la 60282-1 amendée.

Annexe A (normative)

Méthode de tracé de l'enveloppe de la tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit et détermination des paramètres représentatifs

A.1 Généralités

Une onde de tension transitoire de rétablissement peut se présenter sous différentes formes aussi bien oscillatoires que non oscillatoires.

Lorsque l'onde correspond sensiblement à une oscillation amortie à une seule fréquence, l'enveloppe est constituée de deux segments de droite consécutifs. L'enveloppe doit refléter d'aussi près que possible la forme réelle de la tension transitoire de rétablissement. La méthode décrite dans cette annexe permet d'atteindre ce résultat dans la majorité des cas pratiques avec une approximation suffisante.

NOTE Néanmoins, on peut rencontrer certains cas pour lesquels la construction proposée conduirait à des paramètres manifestement plus sévères que la représentation par une courbe de la tension transitoire de rétablissement. Il convient de considérer de tels cas comme des exceptions et ils feront en conséquence l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur ou le laboratoire d'essais.

A.2 Tracé de l'enveloppe

La méthode suivante est utilisée pour construire les segments de droite formant l'enveloppe de la courbe de la tension transitoire de rétablissement présumée.

- a) Le premier segment de droite passe par l'origine O, est tangent à la courbe, et ne doit pas la couper.

Dans le cas de courbes dont la partie initiale présente une concavité vers la gauche, le point de contact est souvent au voisinage de la première crête (voir le segment OA sur la [Figure A.1](#)).

Si la concavité est tournée vers la droite, comme dans le cas d'une courbe exponentielle, le point de contact est au voisinage de l'origine (voir le segment OA sur la [Figure A.2](#)).

- b) Le deuxième segment de droite a pour support une ligne horizontale tangente à la courbe au point correspondant à la crête la plus élevée (voir le segment AC sur les [Figures A.1](#) et [A.2](#)).

On obtient ainsi l'enveloppe à deux paramètres O, A, C.

A.3 Détermination des paramètres

Les paramètres représentatifs sont, par définition, les coordonnées des points d'intersection des segments de droite constituant l'enveloppe.

Les deux paramètres u_c et t_3 , indiqués dans les [Figures A.1](#) et [A.2](#), peuvent être obtenus en prenant les coordonnées du point d'intersection A.

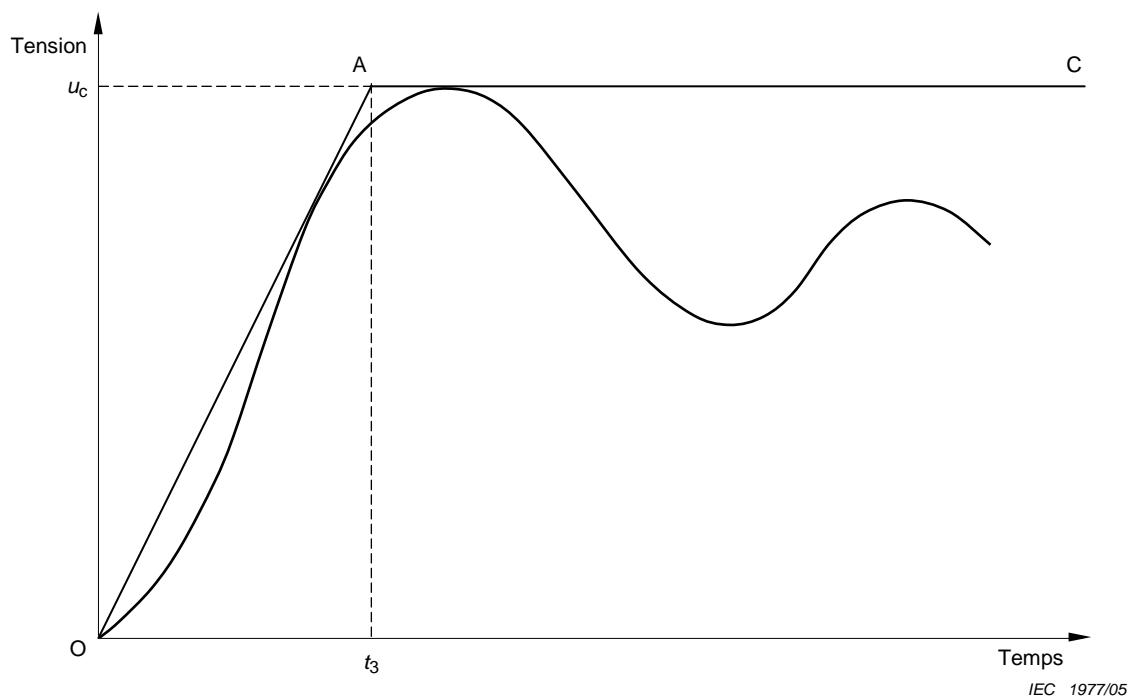


Figure A.1 – Exemple d'un tracé de référence à deux paramètres pour une TTR dont la partie initiale présente une concavité vers la gauche

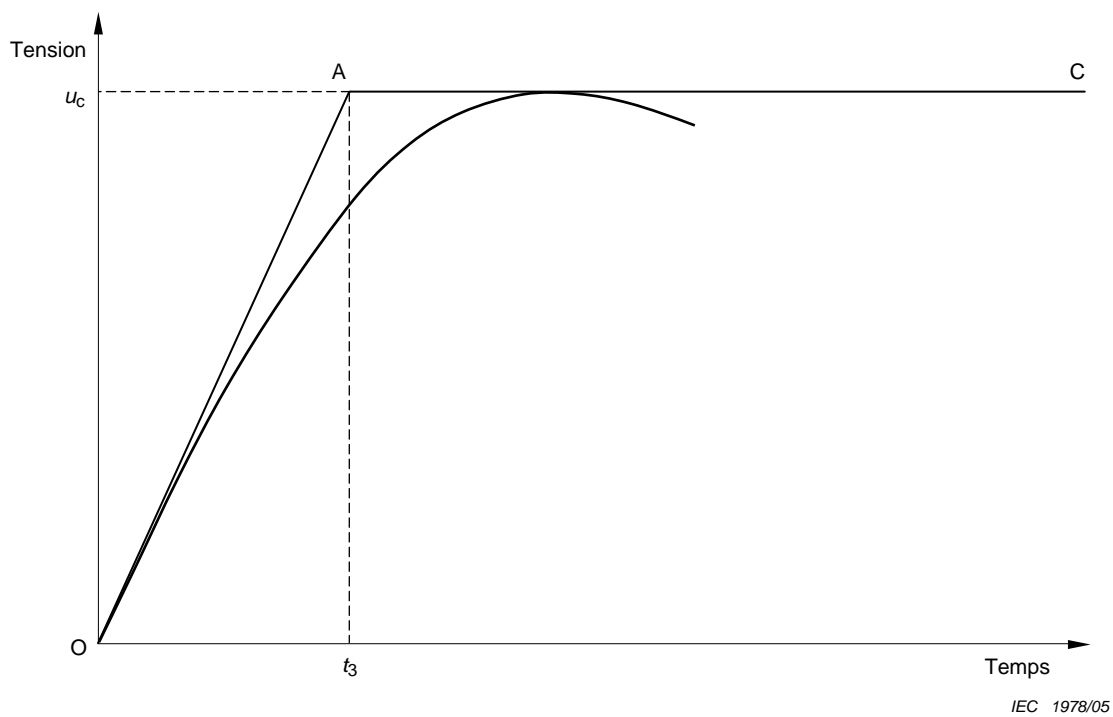


Figure A.2 – Exemple d'un tracé de référence à deux paramètres pour une TTR exponentielle

Annexe B (informative)

Justification du choix des caractéristiques de TTR pour les suites d'essais 1, 2 et 3

Il faut qu'un fusible à haute tension fonctionne de façon satisfaisante dans toutes les conditions de service normales et interrompe le circuit sans provoquer de surtension de coupure trop élevée. C'est pourquoi il est recommandé que les essais de coupure spécifiés dans la présente norme représentent autant que possible les conditions les plus sévères normalement rencontrées en service. Etant donné que les fusibles sont utilisés dans les mêmes réseaux que les disjoncteurs, il pourrait sembler logique d'utiliser les mêmes caractéristiques de TTR présumées que celles spécifiées pour les disjoncteurs dans l'IEC 62271-100. Cependant, une étude approfondie a montré que ces caractéristiques ne conviennent pas aux essais de fusible du fait que les principes de coupure mis en jeu pour les disjoncteurs et les fusibles sont différents.

Comme un disjoncteur, un fusible peut provoquer des phénomènes transitoires dans la tension de rétablissement après le zéro de courant, mais il engendre également une tension d'arc élevée pouvant varier avec les caractéristiques du circuit déterminé par les paramètres de la TTR. C'est pourquoi il faut considérer deux effets totalement différents de ces paramètres: leurs influences sur la tension d'arc et leur influence sur la tension transitoire de rétablissement.

Les non-coupures des fusibles peuvent être dues soit à une crête de tension excessive au cours de la période d'arc, soit après extinction de l'arc, à une tension excessive en elle-même ou provoquant des réamorçages successifs. Il convient donc que les essais fassent la preuve qu'aucune défaillance de ce genre ne se produira.

Il est apparu nécessaire d'essayer les fusibles à trois valeurs de courant différentes I_1 , I_2 et I_3 correspondant aux suites d'essais 1, 2 et 3 du [Tableau 13](#). Etant donné que les essais au courant I_3 concernent généralement le fonctionnement sur de faibles courants de surcharge, il suffit, pour couvrir toute la gamme des courants de court-circuit présumés, d'effectuer les essais aux courants I_1 et I_2 qui sont parfois très éloignés l'un de l'autre. En général I_2 est compris entre 0,2 % et 100 % de I_1 , suivant le courant assigné, le courant maximal de coupure assigné et la conception d'un fusible donné. La large gamme des pouvoirs de coupure présumés, chacun d'eux étant associé à une infinité de caractéristiques de TTR, ne peut être couverte par deux courants d'essai qu'en tenant compte de la connaissance empirique du comportement des fusibles limiteurs de courant. Les faits suivants, découlant de la connaissance actuelle de la technique des fusibles et d'essais probants, ont été pris en considération.

Au cours de la période d'arc, un fusible absorbe une telle quantité d'énergie que les oscillations de la tension transitoire dues à l'inductance et à la capacité du circuit sont généralement complètement amorties. Il ne peut y avoir d'exception que durant les toutes premières microsecondes après la fusion, au moment où l'arc s'établit. A cet instant, l'arc est encore dans un milieu relativement froid et l'effet d'amortissement par absorption d'énergie peut être faible, d'où des crêtes élevées de tension de rétablissement si la tension d'arc atteint très rapidement une valeur plus élevée que la crête de la tension de la source.

Cependant, la majorité des fusibles se trouvant actuellement sur le marché est conçue de telle sorte que la tension d'arc ne monte pas de cette façon et que des tensions d'arc excessives ne se manifestent généralement pas.

De plus, des phénomènes transitoires n'apparaîtront dans la tension de rétablissement que si, immédiatement avant ou après un zéro de courant, il y a saut de la tension d'arc à la force électromotrice du circuit ou s'il y a arrachement du courant. Compte tenu de la post-

conductivité des produits chauds décomposés par l'arc dans un élément de remplacement fondu, il ne peut y avoir un arrachement important et seul le saut de tension est à considérer.

Comme le fusible absorbe une grande quantité d'énergie pendant la période d'arc, on peut considérer que la valeur du facteur de puissance tend vers l'unité. Le véritable zéro de courant est ainsi plus près du zéro de tension qu'il ne le serait dans le même circuit sans tension d'arc. Pour des courants très élevés représentés par I_1 , il n'y a pratiquement pas de saut de tension au zéro de courant et par conséquent pas de phénomènes transitoires sur la tension de rétablissement.

Toutefois, pour la suite d'essais 2 où I_2 est généralement plus faible que I_1 , la valeur du facteur de puissance est peu modifiée et la valeur de la force électromotrice du circuit au zéro de courant est assez élevée pour donner lieu à un saut de tension et à des phénomènes transitoires importants. La valeur de I_2 est choisie à dessein pour procurer les conditions donnant la variation minimale du facteur de puissance de telle sorte que le saut de tension maximal ait plus de chance de se produire qu'avec le courant I_1 . Dans les toutes premières millisecondes après le zéro de courant, les produits chauds résultant de l'action de l'arc sont encore conducteurs et cette conductivité décroît au fur et à mesure que la chaleur est dissipée, lentement par rapport aux constantes de temps de la tension transitoire. Lors de l'essai des fusibles, cette conductivité procure un amortissement complémentaire des phénomènes transitoires de la tension de rétablissement. Cependant, l'importance de cet amortissement est proportionnelle à l'impédance caractéristique du circuit

$$\sqrt{LC} = 2\pi f_0 L$$

et il en résulte que les phénomènes transitoires à fréquence propre élevée f_0 sont plus efficacement amortis que ceux à fréquence propre plus basse. Ces phénomènes transitoires à basse fréquence sont donc entretenus plus longtemps et, comme ils se superposent à la tension de rétablissement à fréquence industrielle, ils peuvent soumettre l'élément de remplacement fondu à une contrainte de tension supplémentaire, notamment s'ils persistent jusqu'au moment où la tension de rétablissement à fréquence industrielle atteint sa valeur de crête. Des non-coupures dues à des réamorçages se sont produites à cause de cette contrainte supplémentaire, et il faut que les spécifications d'essais tiennent compte de ce phénomène.

Les considérations précédentes peuvent se résumer comme suit.

La tension d'arc d'un fusible n'est pas affectée de façon importante par les caractéristiques de la TTR du circuit, sauf pendant les toutes premières millisecondes après la fusion.

L'apparition de phénomènes transitoires dans la tension de rétablissement propre dépend de la valeur du courant coupé. Il faut s'attendre aux phénomènes transitoires les plus importants avec les courants I_2 de la suite d'essais 2 et ce sont les phénomènes transitoires avec les fréquences propres les plus basses qui sont les plus dangereux. Si le courant d'essai I_1 est très grand par rapport à I_2 , il ne donne généralement pas lieu à des phénomènes transitoires.

Comme il était souhaitable que les caractéristiques de TTR soient les mêmes pour les fusibles et les disjoncteurs, il a été décidé d'accepter les valeurs normalisées spécifiées dans l'IEC 62271-100. Toutefois, pour tenir compte des raisons exposées précédemment, les décisions suivantes relatives aux essais ont été prises.

Suite d'essais 1 – Comme la tension de rétablissement réelle n'est pas soumise à des phénomènes transitoires, fixer des caractéristiques pour la TTR présumée est sans objet et de telles caractéristiques ne sont donc pas spécifiées. Le cas exceptionnel où les caractéristiques de la TTR peuvent influencer la crête de la tension d'arc a été traité séparément.

Suite d'essais 2 – Comme il a été démontré que les phénomènes transitoires à basse fréquence étaient les plus dangereux, des valeurs appropriées pour définir une TTR présumée

caractéristique à basse fréquence ont été déduites des paramètres spécifiés dans l'IEC 62271-100 (voir Tableaux 14 et 15 de la présente norme). En supposant des oscillations à une seule fréquence, ces valeurs représentent un quart à un tiers des valeurs des fréquences les plus basses spécifiées dans l'IEC 62271-100 pour les tensions correspondantes. En outre, les valeurs de crête de la tension ont été basées sur un facteur d'amplitude de 1,5, en comparaison de 1,4 dans les Tableaux 9 et 10 de la présente norme.

Suites d'essais 3 – La présente norme ne spécifie pas de caractéristiques de TTR, tandis que 6.6.1.2 précise qu'une résistance doit être connectée en parallèle avec les réactances du circuit pour supprimer totalement les phénomènes transitoires oscillants. Cependant, l'expérience montre que ces phénomènes ne sont pas toujours supprimés, notamment dans les circuits à très basse fréquence propre, lorsque la résistance a la valeur spécifiée. C'est pourquoi ces valeurs ont été modifiées pour obtenir au moins l'amortissement critique quelle que soit la fréquence propre du circuit d'essai.

Annexe C (informative)

Dispositif recommandé pour les essais d'échauffement des éléments de remplacement d'appareillage immergés dans l'huile

La [Figure C.1](#) donne un exemple caractéristique d'un dispositif d'essai pour éléments de remplacement d'un diamètre de 63,5 mm, de longueurs de 256 mm à 361 mm et de courants assignés de 63 A à 200 A.

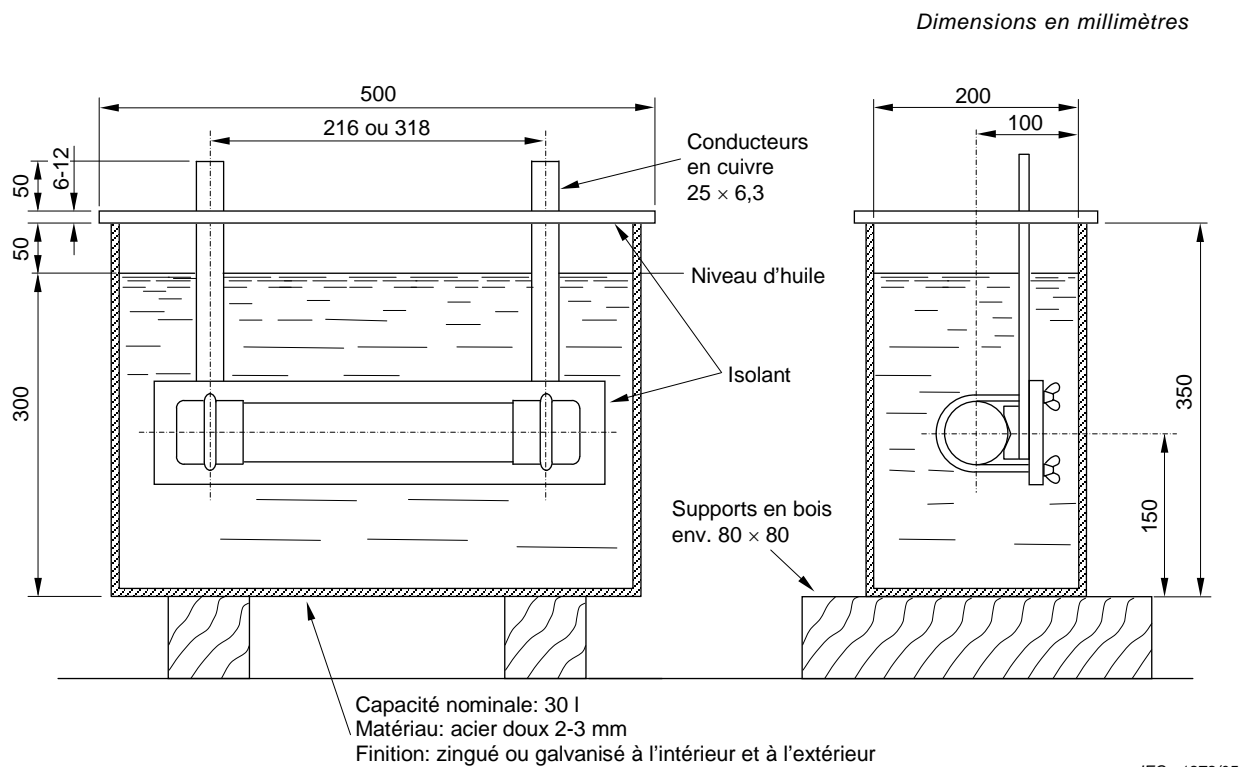
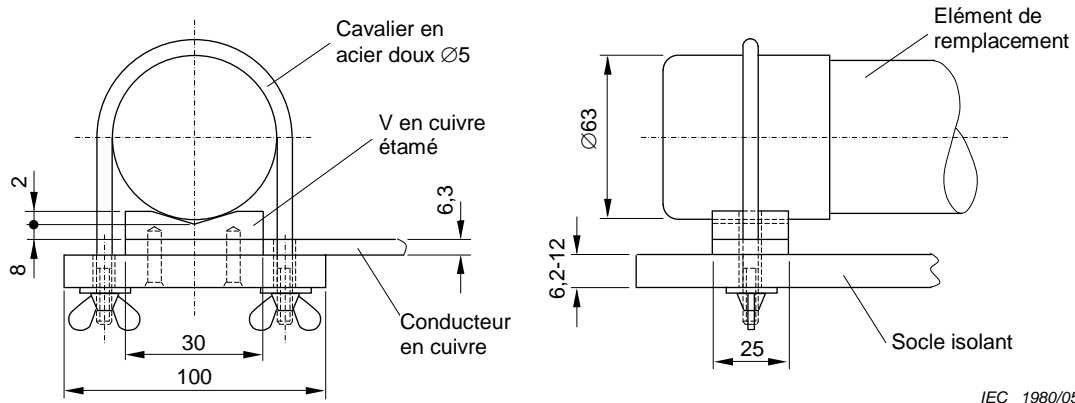


Figure C.1 – Cuve d'essai pour essais d'échauffement des fusibles immergés dans l'huile



NOTE Le dispositif peut également être utilisé pour les essais de pouvoir de coupure. Il peut être renforcé de façon appropriée, si nécessaire, et les éléments de remplacement peuvent être déplacés de façon à équilibrer les distances électriques.

Figure C.2 – Détail de la fixation de l'élément de remplacement de la cuve

Annexe D (informative)

Types et dimensions des éléments de remplacement limiteurs de courant spécifiés dans les normes nationales existantes

La présente annexe est une première étape vers une normalisation dimensionnelle des éléments de remplacement limiteurs de courant. Elle rassemble et classe uniquement les types et les dimensions spécifiés dans les différentes normes nationales existantes. D'autres pratiques courantes ayant d'autres dimensions ne figurent pas dans cette annexe pour la simple raison qu'elles ne font pas partie d'une normalisation officielle.

Le but de cette annexe est d'informer les pays des efforts faits pour normaliser les éléments de remplacement et de les inciter à tendre vers une réduction du nombre de modèles. Une deuxième étape est escomptée pour mettre à jour et compléter cette annexe de façon à réaliser une normalisation universelle assurant l'interchangeabilité dimensionnelle des éléments de remplacement limiteurs de courant.

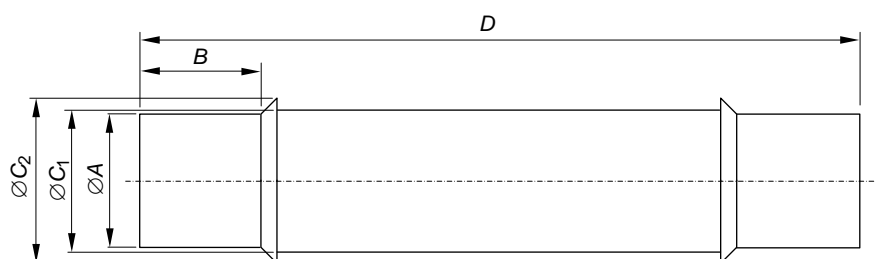
Dans l'attente de renseignements ultérieurs, trois types d'éléments de remplacement (I, II et III) sont définis selon les dimensions indiquées dans les feuilles de caractéristiques I, II et III ci-après.

ÉLÉMENTS DE REMPLACEMENT POUR FUSIBLES LIMITEURS DE COURANT		Feuille de caractéristiques I		
TYPE I <i>Dimensions en millimètres</i>				
<small>IEC 1981/05</small>				
ØA	B	ØC ₂ min.	ØC ₁ et C ₂ max.	D ₋₁ ⁰
45 ± 1	33 ⁺² ₀	50	88	192 292 367 442 537
55 ± 0,5	35 ± 1	60	80	450
Le percuteur ou l'indicateur éventuels doivent se trouver dans l'axe de l'élément de remplacement.				

	ÉLÉMENTS DE REMPLACEMENT POUR FUSIBLES LIMITEURS DE COURANT	Feuille de caractéristiques II
--	--	--------------------------------------

TYPE II

Dimensions en millimètres

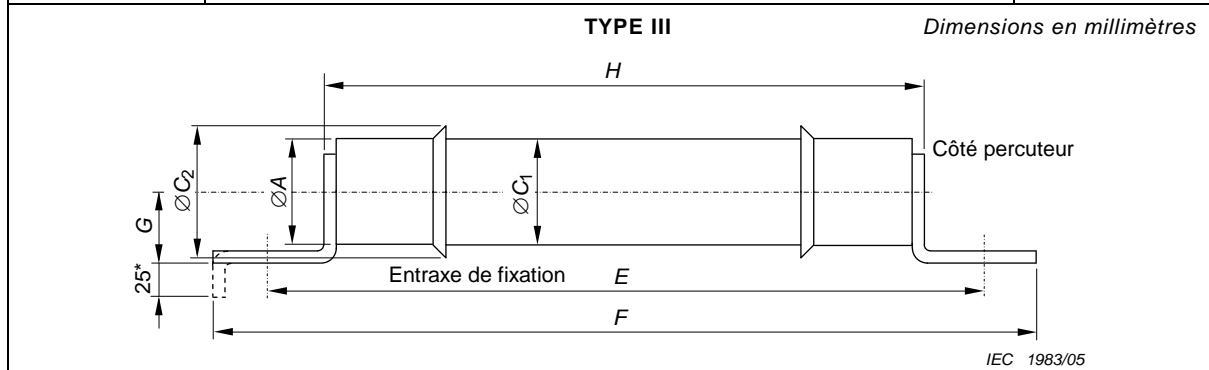


IEC 1982/05

$\varnothing A \pm 0,5$	$B \begin{smallmatrix} +13 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$\varnothing C_1$ 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

Le percuteur ou l'indicateur éventuels doivent se trouver dans l'axe de l'élément de remplacement.

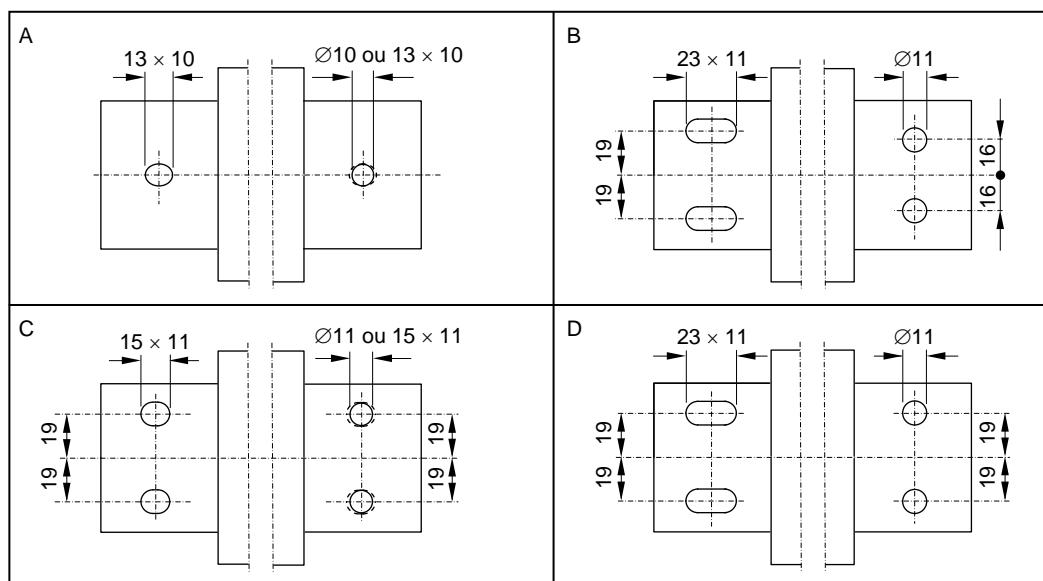
ÉLÉMENTS DE REMPLACEMENT POUR FUSIBLES LIMITEURS DE COURANT	Feuille de caractéristiques III
--	---



* Seulement pour patte D.

$\varnothing A$ max.	$\varnothing C_1$ max.	$\varnothing C_2$ max.	<i>E</i>	F_{-8}^0	<i>H</i> max.	<i>G</i>	Tags
80	80	81	235	259	200	42 ± 2	Figure A
			305	340	264	42 ± 2	Figure B
			419	464	369	41 ± 2	Figure D
82	82	91	235	277	205	Supérieur ou égal à $\varnothing C_2/2$	Figure A
			267	309	227		Figure C
			305	347	269		Figure B-C
			320	362	280		Figure C
			400	442	360		Figure C
			419	464	375		Figure D
			476	518	436		Figure C
553	595	517	Figure B				

Un ou deux trous, ronds ou ovalisés, sont prévus sur les pattes de fixation des éléments de remplacement comme suit.



IEC 1984/05

Le percuteur ou l'indicateur éventuels doivent se trouver dans l'axe de l'élément de remplacement (à droite sur les croquis).

Annexe E (normative)

Exigences relatives à certains types d'éléments fusibles conçus pour être utilisés dans un environnement dont la température est supérieure à 40 °C

E.1 Types d'éléments fusibles concernés par la présente annexe

E.1.1 Généralités

La présente annexe ne traite que certains types d'éléments fusibles. Les autres types, bien qu'ils soient utilisés dans des applications qui les exposent à des environnements dont la température dépasse les 40 °C, sont considérés comme non concernés par tout ou partie de ces exigences en raison de leur construction, de leur application, ou de leur historique de service.

E.1.2 Types d'éléments fusibles concernés

- a) Éléments fusibles Associés et d'Usage Général dits «organiques» comme définis en 3.3.10.
- b) Éléments fusibles à Coupure Intégrale de tous types.

E.1.3 Éléments fusibles non concernés

- a) Les éléments fusibles de type Associé et d'Usage Général non classés comme organiques ne sont pas concernés par les exigences d'essai de coupure TAM.
- b) Les éléments fusibles organiques conçus pour être utilisés uniquement en association avec un appareillage déclenché par percuteur, ne sont pas concernés par les exigences d'essai de coupure TAM.
- c) Les éléments fusible de type Associé dits «organiques» conçus uniquement pour être utilisés dans des équipements où il n'y a aucune source de chaleur importante autre que le fusible lui-même (par exemple, les éléments fusibles dans les combinaisons interrupteur-fusible traitées par l'IEC 62271-105 ou similaires) ne sont pas concernés par les exigences d'essai de coupure TAM.

E.2 Généralités

Les conditions de service normales telles qu'indiquées en 2.1 de la présente norme spécifient une température ambiante maximum de 40 °C. Cependant, certains types d'éléments fusibles sont conçus pour être utilisés dans des environnements dont la température est largement supérieure à cette limite. Les exemples d'application incluent l'utilisation dans des cuves de transformateur et d'autres équipements capables de dégager une chaleur importante, et également des situations impliquant un rayonnement solaire direct intense ou des températures ambiantes élevées. La présente annexe indique les types spécifiques d'éléments fusibles concernés et les exigences spéciales applicables aux fusibles pour de telles applications. Lorsqu'un élément fusible conçu pour une telle application nécessite des essais conformément à la présente annexe, une température d'application maximum (TAM) définie à l'Article E.3 est affectée au fusible. Il s'agit de la température à laquelle ces essais sont réalisés. Si la température maximum pour une application particulière est connue, un fusible testé de manière appropriée peut alors être choisi (c'est-à-dire, un fusible ayant une TAM égale ou supérieure à la température maximum prévue en service).

Il convient de noter que, pour certaines applications, la TAM peut uniquement apparaître dans des conditions anormales, par exemple surcharge du transformateur ou défaillance de

l'équipement. Dans ces cas, bien qu'il soit possible d'affecter une TAM appropriée à un fusible, celui-ci peut ne pas convenir à un fonctionnement en continu à une telle température sans dépasser les températures maximums spécifiées dans le [Tableau 6](#). En effet, certaines valeurs types de TAM peuvent être supérieures aux températures maximum spécifiées dans le [Tableau 6](#).

Il est probable que les fusibles concernés par la présente annexe nécessitent un déclassement pour des conditions de service types (voir IEC/TR 62655:2013, Annexe A et consulter le fabricant pour des informations sur le déclassement des fusibles devant être utilisés dans des environnements dont la température est supérieure à 40 °C).

E.3 Définitions

Température d'application maximum (TAM)

Il s'agit d'une température affectée par un fabricant à un élément fusible. Elle correspond à la température maximum de l'environnement en contact avec l'élément fusible à laquelle ce dernier peut résister sans que sa capacité à interrompre le courant de défaut ne soit altérée. Elle s'applique uniquement aux fusibles conçus pour être utilisés à des températures supérieures à 40 °C.

E.4 Valeurs assignées privilégiées de TAM

Pour les éléments fusibles conçus pour être utilisés à des températures supérieures à 40 °C, le fabricant doit fournir des informations concernant la valeur TAM. Cette valeur doit être sélectionnée à partir des séries R20 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 112, 125, 140, etc. Les valeurs privilégiées sont 71 °C, 112 °C et 140 °C.

E.5 Conditions de service spécifiques

Les exigences dans la présente annexe sont destinées à couvrir les conditions de service suivantes. Elles sont identiques à celles traitées dans l'Annexe informative F qui traite du déclassement lorsque la température environnante du fusible est supérieure à 40 °C.

- a) Fusibles installés à l'extérieur avec écoulement libre de l'air autour de l'élément fusible. La TAM assignée de l'élément fusible concerné est basée sur la température de l'air qui refroidit le fusible.
- b) Fusibles installés dans des enveloppes de grande dimension avec écoulement de l'air relativement libre autour de l'élément fusible. La TAM assignée de l'élément fusible concerné est basée sur la température de l'air à l'intérieur de l'enveloppe, air qui refroidit le fusible.
- c) Éléments fusibles installés dans des enveloppes ou des puits de dimension relativement faible (voir point c) de l'Article F.2). Il est important de noter que la TAM assignée de l'élément fusible concerné est basée sur la température de l'air ou du liquide, air ou liquide qui refroidit l'extérieur de la petite enveloppe ou du puits.

NOTE Des gaz autres que l'air peuvent être utilisés pour le refroidissement, par exemple le SF₆.

- d) Éléments fusibles installés dans des enveloppes de grande dimension avec circulation relativement libre du liquide autour de l'élément fusible. La TAM assignée de l'élément fusible concerné est basée sur la température du liquide qui refroidit le fusible.

E.6 Essais de coupure supplémentaires

E.6.1 Règles d'essai

Les règles pour les essais de coupure doivent être telles que spécifiées en 6.3 et 6.6.1, et comme suit.

Les essais suivants doivent être réalisés en plus de ceux spécifiés en 6.6, sauf spécification contraire dans la présente annexe.

NOTE Réaliser des essais conformément à 6.6, avec des températures environnantes inférieures à 40 °C, est nécessaire car, pour certaines conceptions de fusibles et pour certains aspects de la coupure, des essais à des températures inférieures peuvent être plus contraignants. Des essais à des températures élevées sont nécessaires car, pour d'autres conceptions et pour d'autres aspects de la coupure, des essais à des températures élevées peuvent être plus contraignants.

a) Suite d'Essai 1:

Aucun essai supplémentaire n'est requis.

NOTE Les essais de la suite d'Essai 1 sont considérés comme non nécessaires puisque les échecs à des températures élevées sont généralement associés à des températures de composant élevées et les essais de la série 2 (prévus pour approcher de l'énergie d'arc maximum) peuvent produire des températures supérieures.

b) Suite d'Essai 2:

Pour tous les fusibles Associés dits «organiques», fusibles d'Usage Général dits «organiques» et fusibles à Coupure Intégrale dits «organiques», trois essais de la suite d'Essai 2, en plus de ceux spécifiés dans le [Tableau 13](#), doivent être réalisés avec les fusibles à la température environnante maximum spécifiée par le fabricant (TAM). Les essais supplémentaires s'appliquent uniquement au courant assigné le plus élevé d'une série homogène.

c) Suite d'Essai 3:

Pour les fusibles Associés dits «organiques»: si la durée de fusion observée pendant les essais de la suite d'Essai 3 spécifiés en 6.6.1.1 et réalisés avec une température environnante inférieure à 40 °C, s'avère supérieure à 100 s, deux essais supplémentaires de la suite d'Essai 3 doivent être réalisés avec le fusible à sa TAM. Ces essais supplémentaires s'appliquent uniquement au courant assigné le plus élevé d'une série homogène dont la durée de fusion est supérieure à 100 s.

Pour tous les fusibles d'Usage Général: aucun essai supplémentaire n'est exigé. Toutefois, le courant d'essai utilisé pour l'essai TD3 peut, dans des environnements dont la température est supérieure à 40 °C, provoquer ensuite la fusion du fusible en moins d'une heure. A la demande de l'utilisateur, des informations sur la relation temps-courant peuvent être fournies pour faire face à cette situation (voir IEC/TR 62655:2013, 5.1.1.2.8).

Pour tous les fusibles à Coupure Intégrale: les essais spécifiés dans le [Tableau 13](#) sont remplacés par les essais spécifiés en E.6.3.

E.6.2 Modalités d'essai

Les modalités d'essai seront telles que spécifiées en 6.6.2 et 6.6.3 et comme suit.

Dans la plupart des cas, les essais à température élevée traités dans la présente annexe peuvent être réalisés avec le fusible placé dans un environnement thermique stable, tel qu'un four à régulation de température, réglé à la température pour laquelle le fusible est spécifié par le fabricant (TAM). Lorsque le corps du fusible atteint une température stable, tout ventilateur à circulation d'air utilisé doit être arrêté pour le reste de l'essai. Si un fusible conçu pour être utilisé uniquement dans des enveloppes remplies d'huile est testé dans l'air, pour des raisons de commodité (voir 6.6.1.5.2), il n'est pas nécessaire d'arrêter le ventilateur à circulation d'air pendant l'essai.

Généralement, lorsque les essais sont réalisés conformément à l'Annexe E, l'élément fusible ne sera pas installé dans un équipement réel avec lequel il sera utilisé en service (par exemple, lorsqu'un four est utilisé pour créer la TAM). Dans ce cas, alors que l'élément fusible doit être installé de manière à simuler le plus possible les conditions de service, il est admis que tous les aspects de son installation (par exemple, la mise à la terre des composants) peuvent ne pas respecter pleinement toutes les exigences de 6.3 et 6.6. Cependant, cela est considéré comme acceptable, dans la mesure où les essais de l'Annexe E sont réalisés en plus des essais traités en 6.6.

Si un élément fusible, qui doit être testé conformément à la présente annexe, est conçu pour être utilisé dans une enveloppe de faible dimension ou en puits (voir le point c) de l'Article E.5), il doit être testé dans une enveloppe appropriée de faible dimension (formant un «fusible sous enveloppe ou puits» (FEP) pour simuler les conditions de service. Si la TAM assignée à l'élément fusible/FEP est supérieure à 40 °C, la combinaison fusible et enveloppe doit être installée dans un four ou une enveloppe plus grande afin de permettre au milieu ambiant qui refroidit le FEP (par exemple l'air ou l'huile) d'avoir une température égale ou supérieure à la TAM assignée. Une source de chauffage auxiliaire, telle que détaillée ci-dessus, peut être utilisée. En général, il n'est pas nécessaire de tester un FEP si l'élément fusible qu'il utilise a été testé dans des conditions équivalentes ou plus sévères.

E.6.3 Suite d'Essai 3 des fusibles à Coupure Intégrale

Pour les fusibles à Coupure Intégrale conçus pour être utilisés dans un environnement où la température est supérieure à 40 °C, les essais de la suite d'essai 3 doivent être réalisés dans une enveloppe chauffée conçue de manière à simuler cette application, comme détaillé en E.6.2.

Le courant d'essai I_3 est choisi de manière à représenter l'intensité la plus basse qui pourrait entraîner la fusion de l'élément fusible lorsqu'elle est appliquée à la température environnante maximum spécifiée par le fabricant (TAM). Voir l'Article E.7 pour plus de détails concernant le montage d'essai et la méthode pour déterminer l'intensité I_3 .

Un essai de coupure en deux parties est alors effectué tel qu'indiqué au point c) ou d) de 6.6.3.1. Le courant haute tension I_3 est déterminé à partir des essais thermiques décrits à l'Article E.7. La source basse tension peut être réglée sur une valeur supérieure au I_3 pendant la période de préarc afin d'éviter toute durée d'essai inutilement longue, sous réserve que la durée de préarc résultante ne soit pas inférieure à 1 h.

Après 1 h, le courant à basse tension peut être augmenté jusqu'à 15 % au-dessus de sa valeur originale afin de provoquer la fusion.

E.7 Fusible à Coupure Intégrale: détermination du courant I_3

Cette procédure peut être réalisée par le constructeur.

Trois échantillons doivent être utilisés pour déterminer la valeur de I_3 . Chaque échantillon est placé dans un environnement dont la température est stable, comme cela est décrit en E.6.2, ajustée à la valeur de MAT pour laquelle le fusible a été assigné par le constructeur.

Lorsque le corps du fusible a atteint une température stable, on fait alors circuler un courant dans le fusible. Lorsque la température du corps de l'élément de remplacement s'est stabilisée, la valeur du courant est à nouveau augmentée. Cette procédure est répétée jusqu'au fonctionnement du fusible. La température est considérée stable lorsque le taux d'élévation de la température ne dépasse pas 2 % ou 1 K/h.

Le taux d'augmentation du courant n'est pas spécifié mais il pourrait typiquement se situer dans la gamme de 5 % à 10 %.

Le courant le plus élevé que chacun des trois fusibles a porté sans fusionner est alors retenu. I_3 est défini comme étant 0,9 fois la plus faible valeur de ces trois courants. Le facteur 0,9 est utilisé pour tenir compte des tolérances de fabrication, de façon à ce que l'essai avec I_3 soit réalisé avec un courant légèrement inférieur au courant le plus faible qui pourrait provoquer la fusion d'un élément de remplacement lorsqu'il est utilisé dans un environnement dont la température est égale à la température maximale pour laquelle le fusible a été assigné par le fabricant.

Annexe F
(informative)

**Guide pratique pour le déclassement thermique des fusibles
limiteurs de courant**

L'Annexe A de l'IEC/TR 62655:2013 doit être utilisée.

Annexe G (informative)

Critères pour déterminer la validité des essais I_t

G.1 Généralités

Les fusibles qui nécessitent un essai I_t sont ceux dans lesquels, à différents niveaux d'intensité, différents mécanismes en série de l'élément réalisent la majeure partie de la fonction d'interruption du courant. Lorsque les essais avec des intensités élevées (TD1 et TD2) et les essais de faibles intensités (TD3) ne couvrent pas la zone de recouvrement entre les courants interrompus par les différents mécanismes de l'élément fusible, les essais I_t sont conçus de manière à démontrer qu'il n'y a pas de courant ne pouvant pas être coupé, soit par les différents mécanismes individuellement, soit par une association de ces mécanismes. En raison de la grande diversité de conception des fusibles, il n'y a pas de règle simple pour déterminer la validité de ces essais, l'objectif de la présente annexe est donc de donner des instructions générales à ceux qui essaient de vérifier que les essais I_t qui ont été réalisés démontrent bien ce qui doit l'être.

G.2 Processus de coupure

L'illustration la plus simple du phénomène I_t serait probablement un élément fusible ayant un seul élément comprenant une section limiteur de courant (ruban avec des encoches) en série avec une section à expulsion (élément dans une gaine). A des intensités élevées, seules les rubans fondent et entrent en régime d'arc (avec une fusion pratiquement simultanée de toutes les encoches) alors qu'à des intensités plus faibles, seule la section à expulsion fond et produit un arc. Avec une telle conception, les caractéristiques temps-courant (TC) des deux mécanismes en série se croiseront à un certain courant intermédiaire où à la fois la section faible intensité et au moins une encoche de la section haute intensité fondent et génèrent un arc. Un tel courant de recouvrement peut généralement être déterminé relativement facilement, et est bien défini si les courbes TC se croisent avec un angle relativement grand. Ce courant de recouvrement est le courant I_t du fusible. Les essais à ces deux niveaux d'intensité, un peu au-dessus et en dessous de cette intensité I_t démontreront en conséquence que l'élément fusible peut interrompre le courant le plus élevé devant être interrompu par la section des faibles intensités (sans l'aide de la section des hautes intensités), et que l'élément fusible peut interrompre le courant le plus faible devant être interrompu par la section des hautes intensités (sans l'aide de la section des faibles intensités).

On peut alors émettre l'hypothèse raisonnable que la section des hautes intensités peut interrompre tous les courants supérieurs à I_t , et que la section des faibles intensités peut interrompre tous les courants inférieurs à I_t . Le respect de la norme peut être vérifié si chaque courant d'essai produit un arc uniquement dans la section appropriée. Ces conditions peuvent être vérifiées par des techniques telles qu'un examen physique (c'est-à-dire l'ouverture de l'élément fusible), un contrôle radiographique aux rayons X ou équivalent.

L'illustration simple ci-dessus indique le principe de base à suivre pour tous les fusibles. Cependant, de nombreuses conceptions de fusible ne se conforment pas à ce processus simple. Les caractéristiques temps-courant des sections en série peuvent se croiser avec un angle si étroit qu'il n'y a pas une valeur I_t distincte, mais plutôt une zone de recouvrement qui est supérieure à $\pm 20\%$ de toute valeur de courant. Pour d'autres conceptions, les caractéristiques temps-courant peuvent ne pas se croiser du tout, il est donc possible pour une section de fondre pour tous les courants, même lorsque c'est une autre section qui effectue la majeure partie de la fonction d'interruption. Avec certaines conceptions qui ont de nombreux éléments en parallèle, la valeur du courant à laquelle les sections des hautes intensités commencent à fondre et participent au processus d'interruption peut être considérablement inférieure à la valeur apparente de recouvrement qui correspond à l'intersection des courbes

temps-courant pour les différentes sections. Cela est dû au phénomène par lequel, à certaines intensités, les éléments en parallèle ne produisent pas un arc de manière simultanée mais séquentielle. Dans tous ces cas, seul le fabricant du fusible est en mesure de spécifier les valeurs du courant d'essai qui démontreront le respect de la norme et, souvent, seul le fabricant est capable de déterminer si un essai particulier a démontré le résultat souhaité. Cela est dû au fait que la simple démonstration de l'interruption du courant n'est pas un critère suffisant pour démontrer que la zone de recouvrement a été explorée de manière adéquate. En conséquence, 6.6.1.3 permet au fabricant de spécifier d'autres courants d'essais que $1,2 I_t$ et $0,8 I_t$, si ces valeurs ne sont pas appropriées

Bibliographie

IEC 60050(441):1984, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

IEC 60050(604):1987, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 604: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Exploitation*

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

IEC/TR 60890:1987, *Méthode de détermination par extrapolation des échauffements pour les ensembles d'appareillage à basse tension dérivés de série (EDS)*

IEC 62271-1:2007, *Appareillage à haute tension – Partie 1:Spécifications communes*

IEC 62271-100:2008, *Appareillage à haute tension – Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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