

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE



**Low-voltage fuses –
Part 5: Guidance for the application of low-voltage fuses**

**Fusibles basse tension –
Partie 5: Lignes directrices pour l'application des fusibles basse tension**



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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE



**Low-voltage fuses –
Part 5: Guidance for the application of low-voltage fuses**

**Fusibles basse tension –
Partie 5: Lignes directrices pour l'application des fusibles basse tension**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

ICS 29.120.50

ISBN 978-2-8322-1448-0

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	10
4 Fuse benefits.....	12
5 Fuse construction and operation.....	13
5.1 Components	13
5.2 Fuse-construction	13
5.2.1 Fuse link.....	13
5.2.2 Fuse-link contacts	14
5.2.3 Indicating device and striker	14
5.2.4 Fuse-base	14
5.2.5 Replacement handles and fuse-holders	14
5.3 Fuse operation.....	15
5.3.1 General	15
5.3.2 Fuse operation in case of short-circuit	15
5.3.3 Fuse operation in case of overload	15
5.3.4 Fuse link pre-arcing time current characteristic:.....	16
5.3.5 Fuse operation in altitudes exceeding 2 000 m	17
6 Fuse-combination units.....	18
7 Fuse selection and markings	19
8 Conductor protection	21
8.1 General.....	21
8.2 Utilization category gG.....	22
8.3 Utilization category gN and gD.....	23
8.4 Utilization category gR and gS.....	23
8.5 Utilization category gU.....	24
8.6 Utilization category gK	24
8.7 Utilization category gPV.....	24
8.8 Protection against short-circuit current only	24
9 Selectivity of protective devices.....	24
9.1 General.....	24
9.2 Selectivity between fuses.....	25
9.2.1 General	25
9.2.2 Verification of selectivity for operating time $\geq 0,1$ s	25
9.2.3 Verification of selectivity for operating time $< 0,1$ s	26
9.2.4 Verification of total selectivity	26
9.3 Selectivity of circuit-breakers upstream of fuses	26
9.3.1 General	26
9.3.2 Verification of selectivity for operating time $\geq 0,1$ s	27
9.3.3 Verification of selectivity for operating time $< 0,1$ s	27
9.3.4 Verification of total selectivity	27
9.4 Selectivity of fuses upstream of circuit-breakers	28
9.4.1 General	28
9.4.2 Verification of selectivity for operating time $\geq 0,1$ s	28

9.4.3	Verification of selectivity for operating time < 0,1 s	28
9.4.4	Verification of total selectivity	28
10	Short-circuit damage protection	30
10.1	General.....	30
10.2	Short-circuit current paths.....	30
10.3	Current limitation	31
10.4	Rated conditional short-circuit current, rated breaking capacity.....	31
11	Protection of power factor correction capacitors	31
12	Transformer protection	32
12.1	Distribution transformers with a high-voltage primary	32
12.2	Distribution transformers with a low-voltage primary	33
12.3	Control circuit transformers.....	33
13	Motor circuit protection	33
13.1	General.....	33
13.2	Fuse and motor-starter coordination	34
13.3	Criteria for coordination at the rated conditional short-circuit current I_q	34
13.4	Criteria for coordination at the crossover current I_{CO}	35
13.5	Criteria for coordination at test current “r”	35
14	Circuit-breaker protection in a.c. and d.c. rated voltage circuits	36
15	Protection of semiconductor devices in a.c. and d.c. rated voltage circuits	36
16	Fuses in enclosures.....	38
16.1	General.....	38
16.2	Limiting temperature of utilization category gG fuse-links according to IEC 60269-2 – System A.....	38
16.3	Other fuse-links	38
17	DC applications	38
17.1	General.....	38
17.2	Short-circuit protection.....	38
17.3	Overload protection	39
17.4	Time-current characteristics.....	40
18	Automatic disconnection for protection against electric shock for installations in buildings.....	40
18.1	General.....	40
18.2	Principle of the protection	41
18.3	Examples.....	42
19	Photovoltaic (PV) system protection	43
19.1	General.....	43
19.2	Selection of PV fuse-links	44
19.2.1	Fuse utilization category	44
19.2.2	PV string fuses	44
19.2.3	Fuse replacement.....	44
19.2.4	Unearthed or Ungrounded PV Systems.....	44
19.2.5	Functional earthing fuses.....	44
19.2.6	PV array and PV sub-array fuses.....	45
19.2.7	Fuse monitoring.....	45
19.2.8	Breaking capacity	45
19.2.9	Voltage of gPV fuses	45
19.2.10	Rated current of gPV fuses.....	45

20	Protection of wind mills.....	45
Annex A (informative)	Coordination between fuses and contactors/motor-starters.....	47
A.1	General.....	47
A.2	Examples of suitable fuse-links used for motor protection	47
A.3	Values of I^2t and cut-off current observed in successful tests of fuse-link/motor-starter combinations worldwide.....	48
A.4	Criteria for coordination at the rated conditional short-circuit current I_q	51
A.4.1	General	51
A.4.2	Maximum operating I^2t and cut-off current	51
A.4.3	Guidance for choosing the maximum rated current of an alternative fuse type	52
A.4.4	Further guidance	52
A.5	Criteria for coordination at test current "r"	53
A.6	Types of coordination.....	54
Bibliography.....		57
Figure 1	– Typical fuse-link according to IEC 60269-2.....	13
Figure 2	– Typical fuse-link according to IEC 60269-2.....	14
Figure 3	– Current-limiting fuse operation	15
Figure 4	– Fuse operation on overload	16
Figure 5	– Time current characteristic for fuse-links	17
Figure 6	– Currents for fuse-link selection.....	23
Figure 7	– Selectivity – General network diagram	25
Figure 8	– Verification of selectivity between fuses F_2 and F_4 for operating time $t \geq 0,1$ s	26
Figure 9	– Verification of selectivity between circuit-breaker C_2 and fuses F_5 and F_6	27
Figure 10	– Verification of selectivity between fuse F_2 and circuit-breaker C_3 for operating time $t \geq 0,1$ s	29
Figure 11	– Verification of selectivity between fuse F_2 and circuit-breaker C_3 for operating time $t < 0,1$ s	30
Figure 12	– Fuse and motor-starter coordination.....	35
Figure 13	– DC circuit	39
Figure 14	– DC breaking operation	39
Figure 15	– Fuse operating time at various d.c. circuit time constants.....	40
Figure 16	– Time-current characteristic.....	42
Figure A.1	– Collation of cut-off currents observed in successful coordination at I_q	49
Figure A.2	– Pre-arcing and operating I^2t values of fuses used in successful coordination tests as a function of contactor rated current AC3.....	50
Figure A.3	– Pre-arcing and operating I^2t values of fuses used in successful coordination tests as a function of fuse rated current I_n	51
Figure A.4	– Illustration of the method of selection of the maximum rated current of a fuse for back-up protection of a contactor of rating $I_e = X$ amperes.....	54
Figure A.5	– Withstand capabilities of a range of contactors and associated overload relays at test current "r"	55
Figure A.6	– Illustration of a method of deriving curves of maximum peak current at test current "r" as a function of fuse rated current	56

Table 1 – Derating factors for different altitudes.....	18
Table 2 – Definitions and symbols of switches and fuse-combination units.....	19
Table 3 – Fuse application.....	20
Table 4 – Maximum operational voltage of a.c. fuse-links	21
Table 5 – Typical operational voltage ratings of d.c. fuse-links.....	21
Table 6 – Fuse selection for power factor correction capacitors (fuses according to IEC 60269-2, system A)	32
Table 7 – Conventional non fusing current	37
Table 8 – Time constants of typical d.c. circuits	40
Table A.1 – Examples of typical fuse-link ratings used for motor-starter protection illustrating how the category of fuse-link can influence the optimum current rating	48
Table A.2 (Table 12 of IEC 60947-4-1:2009) – Value of the prospective test current according to the rated operational current.....	53
Table A.3 – Types of coordination.....	54

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

LOW-VOLTAGE FUSES –**Part 5: Guidance for the application of low-voltage 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.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC 60269-5, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 32B: Low-voltage fuses, of IEC technical committee 32: Fuses.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2010. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) recommendations for fuse operations in high altitudes added
- b) more details for operational voltages added
- c) recommendations for photovoltaic system protection added
- d) numerous details improved

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
32B/621A/DTR	32B/624/RVC

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

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

A list of all parts of the IEC 60269 series, under the general title: *Low-voltage fuses*, can be found on the IEC website.

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

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

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

INTRODUCTION

Fuses protect many types of equipment and switchgear against the effects of over-current which can be dramatic:

- thermal damage of conductors or bus-bars;
- vaporisation of metal;
- ionisation of gases;
- arcing, fire, explosion,
- insulation damage.

Apart from being hazardous to personnel, significant economic losses can result from downtime and the repairs required to restore damaged equipment.

Modern fuses are common overcurrent protective devices in use today, and as such provide an excellent cost effective solution to eliminate or minimize the effects of overcurrent.

LOW-VOLTAGE FUSES –

Part 5: Guidance for the application of low-voltage fuses

1 Scope

This technical report, which serves as an application guide for low-voltage fuses, shows how current-limiting fuses are easy to apply to protect today's complex and sensitive electrical and electronic equipment. This guidance specifically covers low-voltage fuses up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. designed and manufactured in accordance with IEC 60269 series. This guidance provides important facts about as well as information on the application of fuses.

2 Normative references

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

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

IEC/TR 60146-6, *Semiconductor convertors – Part 6: Application guide for the protection of semiconductor convertors against overcurrent by fuses*

IEC 60269 (all parts), *Low-voltage fuses*

IEC 60269-1:2006, *Low-voltage fuses – Part 1: General requirements*

IEC 60269-2, *Low-voltage fuses – Part 2: Supplementary requirements for fuses for use by authorized persons (fuses mainly for industrial application) – Examples of standardized systems of fuses A to K*

IEC 60269-3, *Low-voltage fuses – Part 3: Supplementary requirements for fuses for use by unskilled persons (fuses mainly for household or similar applications) – Examples of standardized systems of fuses A to F*

IEC 60269-4:2009, *Low-voltage fuses – Part 4: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of semiconductor devices*

IEC 60269-6, *Low-voltage fuses – Part 6: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of solar photovoltaic energy systems*

IEC 60364-4-41:2005, *Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock*

IEC 60364-4-43:2008, *Low-voltage electrical installations – Part 4-43: Protection for safety – Protection against overcurrent*

IEC 60364-5-52, *Low-voltage electrical installations – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems*

IEC 60947 (all parts), *Low-voltage switchgear and controlgear*

IEC 60947-3:2008, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse-combination units*

IEC 60947-4-1:2009, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 4-1: Contactors and motor-starters – Electromechanical contactors and motor-starters*

IEC/TR 61912-1:2007, *Low-voltage switchgear and controlgear – Overcurrent protective devices – Part 1: Application of short-circuit ratings*

3 Terms and definitions

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

3.1

switch (mechanical)

mechanical switching device capable of making, carrying and breaking currents under normal circuit conditions, which may include specified operating overload conditions and also carrying, for a specified time, currents under specified abnormal conditions such as those of short-circuits

Note 1 to entry: A switch may be capable of making but not breaking, short-circuit currents.

[SOURCE: IEC 60050-441:1984, 441-14-10]

3.2

disconnector

mechanical switching device that, in the open position, complies with the requirements specified for isolating function

Note 1 to entry: Some disconnectors may not be capable of switching load.

[SOURCE: IEC 60050-441:1984, 441-14-05, modified (modified definition and Note 1 to entry added)]

3.3

fuse-combination unit

combination of a mechanical switching device and one or more fuses in a composite unit, assembled by the manufacturer or in accordance with his instructions

[SOURCE: IEC 60050-441:1984, 441-14-04, modified (Note removed)]

3.4

switch-fuse

switch in which one or more poles have a fuse in series in a composite unit

[SOURCE: IEC 60050-441:1984, 441-14-14]

3.4.1

single-break and double-break

switch-fuse must be single break (it opens the circuit on one side of the fuse link) or double break (it opens the circuit on both sides of the fuse link)

3.5

fuse-switch

switch in which a fuse-link or a fuse-carrier with fuse-link forms the moving contact

[SOURCE: IEC 60050-441:1984, 441-14-17]

3.5.1

single-break and double-break

fuse-switch must be single break (it opens the circuit on one side of the fuse link) or double break (it opens the circuit on both sides of the fuse link)

3.6

Switching device SD

device designed to make or break the current in one or more electric circuits

Note 1 to entry: A switching device may perform one or both of these operations.

[SOURCE: IEC 60050-441:1984, 441-14-01, modified (Note 1 to entry added)]

3.7

short-circuit protective device SCPD

device intended to protect a circuit or parts of a circuit against short-circuits by interrupting them

3.8

overload protection

protection intended to operate in the event of overload on the protected section

[SOURCE: IEC 60050-448:1995, 448-14-31]

3.9

overload

operating conditions in an electrically undamaged circuit, which cause an over-current

[SOURCE: IEC 60050-441:1984, 441-11-08]

3.10

overcurrent

current exceeding the rated current

[SOURCE: IEC 60050-442:1998, 442-01-20]

3.11

rated conditional short-circuit current (of a switching device)

I_q
prospective current that a switching device, protected by a short-circuit protective device, can satisfactorily withstand for the operating time of that device under test conditions specified in the relevant product standard

3.12

selectivity of protection

ability of a protection to identify the faulty sections and/or phase(s) of a power system

Note 1 to entry: Whereas the terms “selectivity” and “discrimination” have a similar meaning according to the IEC definitions, this report prefers and uses the term “selectivity” to express the ability of one over-current device to operate in preference to another over-current device in series, over a given range of over-current. The effect of standing load current on selectivity in the overload zone is also considered.

[SOURCE: IEC 60050-448:1995, 448-11-06, modified (Note 1 to entry added)]

4 Fuse benefits

The current-limiting fuse provides complete protection against the effects of overcurrents by protecting both, electric circuits and their components. Fuses offer a combination of advantageous features, for example:

- a) High breaking capacity (high current interrupting rating).
- b) No need for complex short-circuit calculations.
- c) Easy and inexpensive system expansion in case of increased fault currents.
- d) High current limitation (low I^2t values).
- e) Mandatory fault elimination before reenergizing.
Fuses cannot be reset, thus forcing the user to identify and correct the fault condition before re-energizing the circuit.
- f) Reliability.
No moving parts to wear out or become contaminated by dust, oil or corrosion. Fuse replacement ensures protection is restored to its original level when the fuse is replaced.
- g) Cost effective protection.
Compact size offers low cost overcurrent protection at high short-circuit levels.
- h) No damage for starters and contactors (type 2 protection according to IEC 60947-4-1).
By limiting short-circuit energy and peak currents to extremely low levels, fuses are particularly suitable for type 2 protection without damage to components in motor circuits.
- i) Safe, silent operation.
No emission of gas, flames, arcs or other materials when clearing the highest levels of short-circuit currents. In addition, the speed of operation at high short-circuit currents significantly limits the arc flash hazard at the fault location.
- j) Easy coordination.
Standardized fuse characteristics and a high degree of current limitation ensure effective coordination between fuses and other devices.
- k) Standardized performance.
Fuse-links designed and manufactured in accordance with IEC 60269 series ensure availability of replacements with standardized characteristics throughout the world.
- l) Improved power quality.
Current-limiting fuses interrupt high fault currents in a few milliseconds, minimizing dips or sags in system supply voltage.
- m) Tamperproof.
Once installed, fuses cannot be modified or adjusted thus preserving their level of performance and avoiding malfunction.
- n) No maintenance.
Properly sized fuses require no maintenance, adjustments or recalibrations. They can remain in service providing originally designed overcurrent protection levels for many decades.
- o) High level of energy efficiency.
The resistance and therefore the power dissipation of the fuse is very low compared with other protection devices. The magnitude of power loss compared to the power transmitted by rated current is much less than 0,1%.
- p) Excellent personnel and equipment protection in case of arc flash.
Properly sized current limiting fuses operating in their current limiting range interrupt currents due to arcing fault in a few milliseconds, keeping arc energy well below hazardous and damaging levels.

5 Fuse construction and operation

5.1 Components

A fuse is a protective device comprising

- the fuse-link,
- the fuse-base,
- the fuse-carrier or replacement handle.

These components may be integrated in a fuse combination unit.

5.2 Fuse-construction

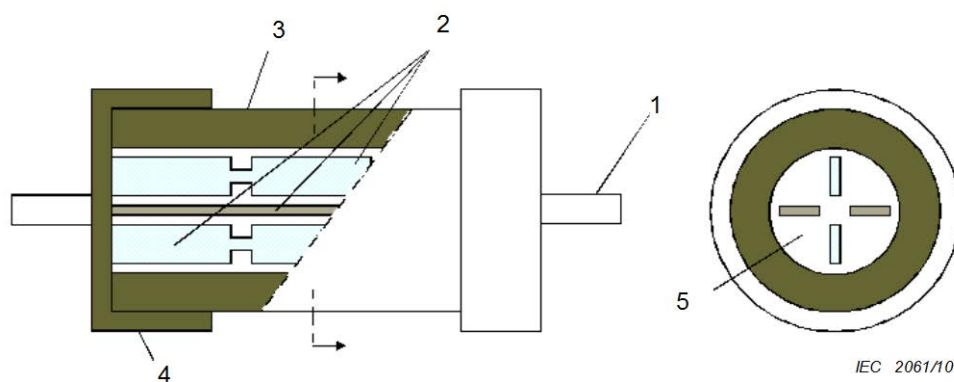
5.2.1 Fuse link

Figures 1 and 2 show the design of typical low-voltage fuse-links for industrial application. Such fuse-links are commonly called current-limiting or high breaking capacity fuse-links. Fuse-links according to IEC 60269-2 (fuses for industrial application) are available in current ratings up to 6 000 A.

Fuse-links according to IEC 60269-3 (fuses for household application) are available in current ratings up to 100 A.

The fuse-element is usually made of flat silver or copper with multiple restrictions in the cross-section, called notches. This restriction (or notch) pattern is an important feature of fuse design, normally achieved by precision stamping.

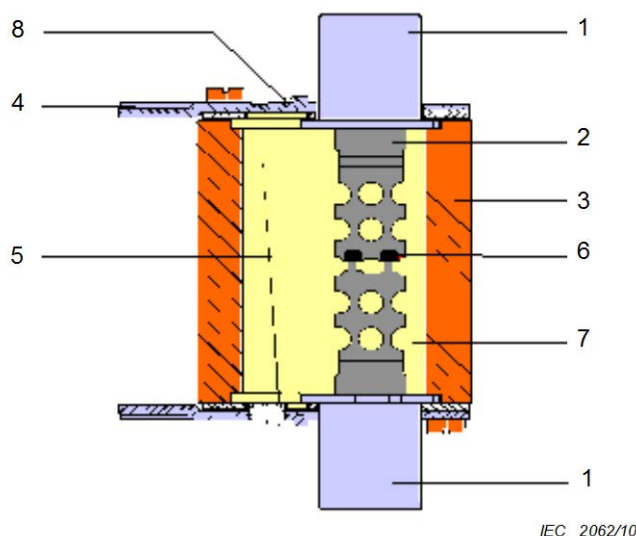
M-effect (see 5.3.3) material is added to the fuse-element to achieve controlled fuse operation in the overload range. The purity of the fuse-element materials and their precise physical dimensions are of vital importance for reliable fuse operation.



Key

- 1 Blade contact
- 2 Fuse-elements
- 3 Fuse body
- 4 End cap
- 5 Filler

Figure 1 – Typical fuse-link according to IEC 60269-2



Key

- 1 Blade contact
- 2 Fuse-element
- 3 Fuse body
- 4 Endplate (with gripping lug)
- 5 Indicator wire
- 6 M-effect material
- 7 Filler
- 8 Indicator

Figure 2 – Typical fuse-link according to IEC 60269-2

5.2.2 Fuse-link contacts

Fuse-link contacts provide electrical connection between the fuse-link and fuse-base or fuse carrier. The contacts are made of copper or copper alloys and are typically protected against the formation of non-conductive layers by plating.

5.2.3 Indicating device and striker

Some fuses are equipped with indicators or strikers for rapid recognition of fuse-link operation. Fuses equipped with strikers also provide means for mechanical actuation (e.g. for a switch of remote signalling) as well as a visual indication.

5.2.4 Fuse-base

The fuse-base is equipped with the matching contacts for accepting the fuse-link, connecting means for cables or busbars and the base insulator.

5.2.5 Replacement handles and fuse-holders

Replacement handles or fuse-carriers, where applicable, enable changing fuse-links in a live system under specified safety rules. They are made of insulating material and subjected to tests as required for safety tools. For some systems, fuse-carriers are an integral part of the fuse-holder, eliminating the need for an external replacement handle.

5.3 Fuse operation

5.3.1 General

Fuses are designed to operate under both short-circuit and overload conditions. Typically short-circuits are current levels at or above 10 times the fuse's rating, and overloads are current levels below 10 times the fuse's rating.

5.3.2 Fuse operation in case of short-circuit

During a short-circuit, the restrictions (notches) all melt simultaneously forming a series of arcs equal to the number of restrictions in the fuse element. The resulting arc voltage ensures rapid reduction in current and forces it to zero. This action is called "current limitation".

Fuse operation occurs in two stages (see Figures 3a and 3b):

- the pre-arcing (melting) stage (t_m): the heating of the restrictions (notches) to the melting point and associated vaporization of the material;
- the arcing stage (t_a): the arcs begin at each notch and are then extinguished by the filler.

The operating time is the sum of the prearcing time and arcing time.

The energies generated by the current in the circuit to be protected during pre-arcing time and operating time are represented by the pre-arcing I^2t and operating I^2t values, respectively. The diagrams in Figure 3 illustrate the current-limiting ability of the fuse-link under short-circuit conditions.

Note that the fuse-link cut-off current i_c is well below the peak value of the prospective current I_p .

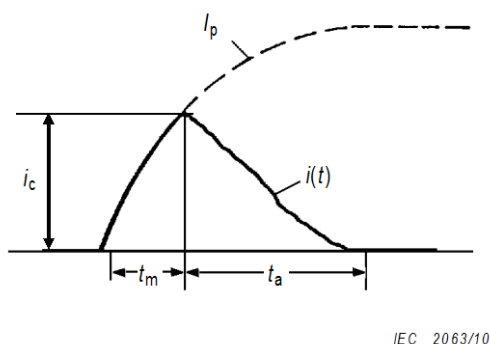


Figure 3a – DC current

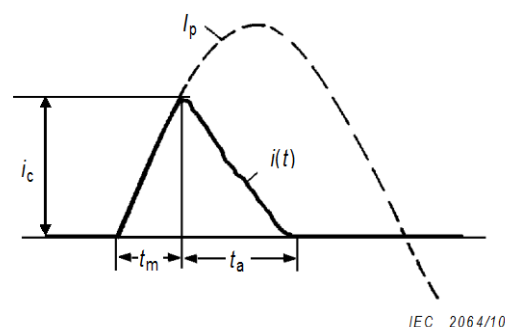


Figure 3b – AC current

Key

- t_m pre-arcing time
 t_a arcing time
 I_p prospective current
 i_c current limited by the fuse

Figure 3 – Current-limiting fuse operation

5.3.3 Fuse operation in case of overload

During an overload, the "M-effect" material melts and an arc forms between the two parts of the fuse element. The filler (typically clean granulated quartz) which surrounds the fuse element quickly extinguishes the arc forcing the current to zero. As it cools, the molten filler turns into a glass like material insulating each half of the fuse element from each other and

preventing arc re-ignition and further current flow. Fuse operation still occurs in two stages (see Figures 4a and 4b):

- the pre-arcing (melting) stage (t_m): the heating of the fuse element to the melting point of the section containing the M-effect material. This period of time is typically longer than a few milliseconds and is inversely dependent on the magnitude of the overload current. Low level overloads result in long melting times from several seconds to several hours.
- the arcing stage (t_a): the arc initiated at the M-effect section is then extinguished by the filler. This time is dependent on the operating voltage
- Both stages make up the fuse operating time ($t_m + t_a$). The energy generated in the circuit to be protected by the overload current during pre-arcing (melting) time and operating time can still be represented by the pre-arcing I^2t and operating I^2t values, respectively; however under overload conditions the pre-arcing I^2t value is so high it provides little useful application data and the prearcing time is the preferred measure for times longer than a few cycles or few time constants. In this case, arcing time is negligible compared to the prearcing time.

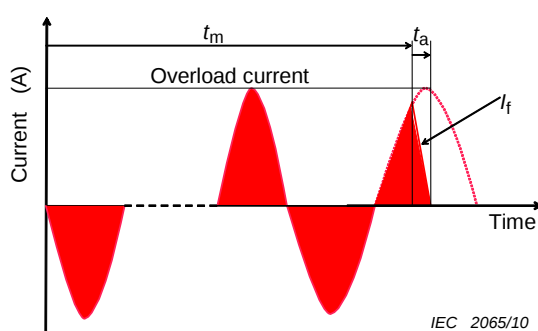


Figure 4a – AC current

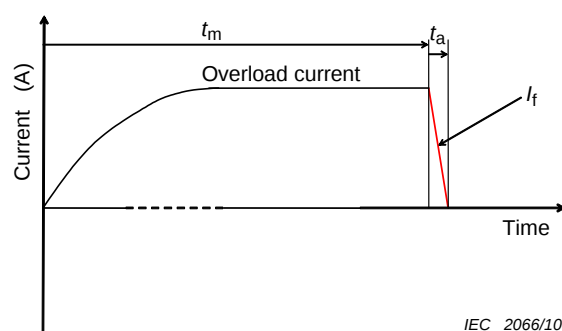
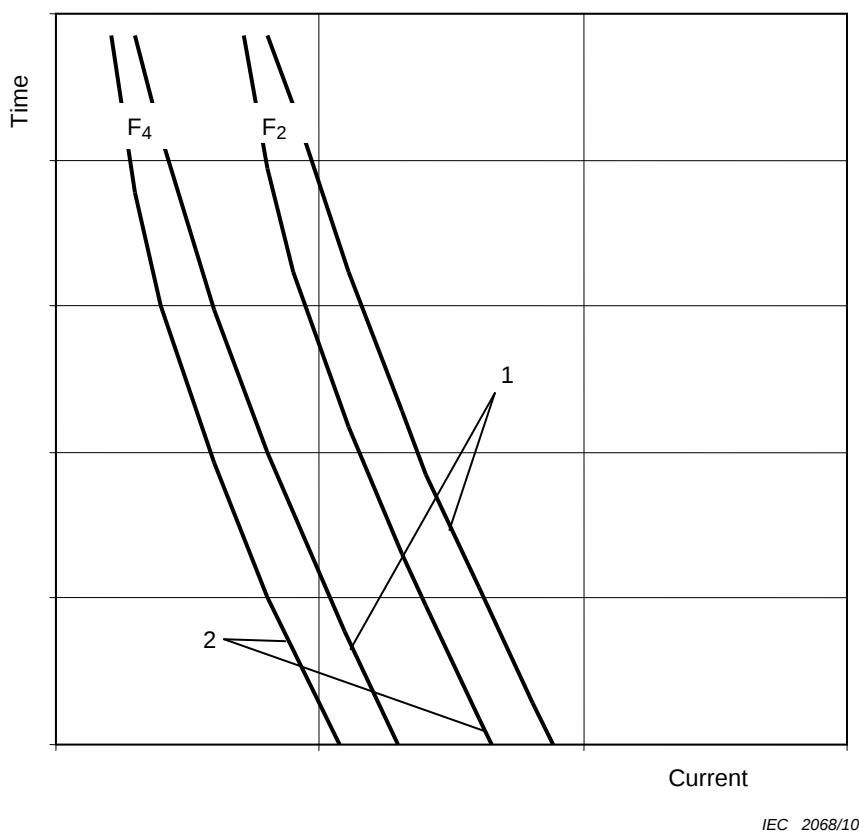


Figure 4b – DC current

Figure 4 – Fuse operation on overload

5.3.4 Fuse link pre-arcing time current characteristic:

The melting time of a fuse-link is therefore also termed the "pre-arcing" time. Fuse-links therefore have a very inverse time-current relationship (higher currents giving shorter pre-arcing times) as illustrated in Figure 5. This enables extremely short pre-arcing times at high currents, without limit. It is this apparently simple phenomenon that is primarily responsible for the universal success fuses have enjoyed for a very long time.



IEC 2068/10

Key

- 1 Maximum operating time
- 2 Minimum pre-arcing time

Figure 5 – Time current characteristic for fuse-links**5.3.5 Fuse operation in altitudes exceeding 2 000 m**

Low voltage fuse-links will carry rated current at altitudes of up to 2 000 m without any de-rating factor required. This is as stated in IEC 60269-1:2006, Subclause 3.2.

For the current carrying capacity of a fuse and the cable is influenced by the cooling surrounding air, the current carrying capacity is derated with the air pressure. This can be described by the following approximation:

Above 2 000 m a de-rating factor of 0,5 % for every 100 m above 2 000 m will be required, due to reduced convection of heat away from the fuse-link with lower air density.

This can be described by the formula:

$$\frac{I}{I_n} = 1 - \frac{h - 2000}{100} \cdot \frac{0,5}{100}$$

I maximum current carrying capacity at altitude h

I_n rated current up to 2 000 m

h altitude in meters

Table 1 – Derating factors for different altitudes

Altitude h in m	Derating factor I/I_n
2 000	1,000
2 500	0,975
3 000	0,950
3 500	0,925
4 000	0,900
4 500	0,875
5 000	0,850

6 Fuse-combination units

Fuse-combination units integrate both circuit protection provided by fuse-links and circuit switching provided by the switch in one unit. Fuse-combination units are standardized in IEC 60947-3:2008, Table 2.

Two different types of fuse-combination units are available:

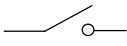
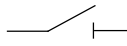
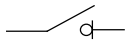
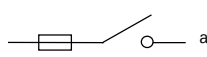
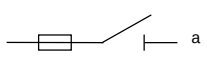
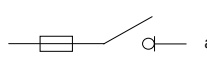
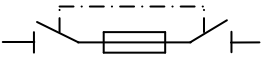
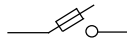
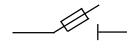
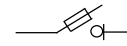
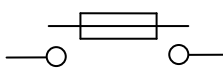
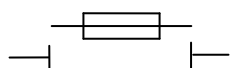
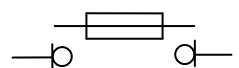
- switch-fuses, switch-disconnector-fuses are switches connected in series with the fuse-links and are usually operator independent devices with manual operation (snap action);
- fuse-disconnectors and fuse-switch-disconnectors which use the fuse-link itself to form the moving part are usually operator dependent devices with manual operation.

Definitions can be found in IEC 60947-3 or in IEC 60050-441. The main ones are shown here for easier reading and their full description can be found in Clause 3:

- switch (mechanical) (see 3.1);
- disconnector (see 3.2);
- fuse combination unit (see 3.3);
- switch-fuse (see 3.4);
- fuse-switch (see 3.5).

From these basic definitions, there are many variations of these devices as shown in Table 2.

Table 2 – Definitions and symbols of switches and fuse-combination units

Functions		
Making and breaking current	Isolating	Making, breaking and isolating
Switch 	Disconnecter 	Switch-disconnector 
Fuse-combination units		
Switch-fuse single break 	Disconnecter-fuse single break ^b 	Switch-disconnector-fuse single break ^b 
Switch-fuse double break 	Disconnecter-fuse double break ^b 	Switch-disconnector-fuse double break ^b 
Fuse-switch single break 	Fuse-disconnector single break ^b 	Fuse-switch-disconnector single break ^b 
Fuse-switch double break 	Fuse-disconnector double break ^b 	Fuse-switch-disconnector double break ^b 
Equipment shown as single break may be double break. NOTE Symbols are based on IEC 60617-7. ^a The fuse may be on either side of the contacts of the equipment or in a stationary position between these contacts. ^b Disconnection between line and load terminals only is verified by test.		

The note to the definition of the switch, i.e. stating that a switch may be capable of making but not breaking, short-circuit currents, very clearly shows that a switch to IEC 60947-3 does not provide short-circuit breaking capacity. In the case of a fuse-combination unit the fuse takes over the breaking function.

Since most of the fuse-combination units with the fuse as an integral unit are designed as fuse-switch disconnectors, or switch-disconnector-fuses, they may be used for

- switching under load,
- isolation,
- short-circuit protection.

The fuse(s) fitted to a fuse combination switch also protect the switch itself against the effects of overcurrent.

7 Fuse selection and markings

To select the proper fuse the nature of the equipment to be protected and the power that has to be interrupted, must be considered. With respect to power supply, the following parameters shall be defined:

- system voltage (operational voltage);

- frequency (for d.c. applications, see Clause 17);
- prospective short-circuit current;
- full load current (operational current).

Current limiting fuse-links are designed with very high rated breaking capacity. They are usually much higher than the minimum values specified in IEC 60269-2 and IEC 60269-3. Fuse-links are available with rated breaking capacities that cover the highest prospective current levels, that are met in service (e.g. up to 200 kA).

NOTE Fuse-links can be safely applied at lower values than the rated breaking capacity.

Fuse selection for a specific application involves consideration of the time-current characteristics and breaking range. The time-current characteristics determine the field of application, while the breaking range indicates whether fuses are to be used together with additional overcurrent protection devices.

"Full range" means that the fuse can break any current able to melt the fuse-element up to the rated breaking capacity. Full range fuses can be used as stand-alone protection devices.

"Partial range", or back-up fuses, are designed to interrupt short-circuit currents only.

They are generally used to back-up another overcurrent protection device, (e.g. motor starter or circuit-breakers) at prospective currents exceeding the breaking capacity of the device alone.

IEC 60269 series and its various fuse systems specify the gates of time-current characteristics and the breaking range of the fuses shown in Table 3:

Table 3 – Fuse application

Utilization category	Application (characteristic)	Breaking range
gG, gK	General purpose	Full range
gM	Motor circuit protection	Full range
aM	Short-circuit protection of motor circuits	Partial range (back-up)
gN	North American general purpose for conductor protection	Full range
gD	North American general purpose time-delay	Full range
gPV	Photovoltaic (PV) protection	Full range
aR	Semiconductor protection	Partial range (back-up)
gR, gS	Semiconductor and conductor protection	Full range
gU	General purpose for conductor protection	Full range
gL, gF, gI, gII	Former types of fuses for general purpose (replaced by gG type)	Full range

Fuses for use by authorized persons (industrial fuses) are generally interchangeable. Each fuse-link, fuse-base or fuse-holder is therefore legibly and permanently marked with the following information:

- name of the manufacturer or trade name;
- manufacturer's identification reference enabling any further information to be found;
- rated voltage a.c. and/or d.c. (see Tables 4 and 5);
- rated current;
- rated frequency if < 45 Hz or > 62 Hz;

- size or reference.

In addition, each fuse-link is marked with

- letter code defining breaking range and utilization category (as applicable, see Table 3)
- rated breaking capacity

Fuse-bases and fuse-holders marked with a.c. ratings may also be used for d.c.

Fuse-links are marked separately if they are provided for a.c. and d.c. applications.

Fuses may be operated up to the maximum voltage as given in Table 4 and Table 5.

Table 4 – Maximum operational voltage of a.c. fuse-links

Utilization category	Rated voltage V a.c.	Maximum operational voltage V a.c.
gG, gM, aR ^{a, b} , aM, gR ^{a, b} , gS ^{a, b} , gU, gK	230	253
	400	440
	500	550
	690	725
	1000	1100
gN ^a , gD ^a	600	600
^a For North American system of fuse-links, the maximum operational voltage is equal to the rated voltage.		
^b Other rated voltages are available depending on the application.		

Table 5 – Typical operational voltage ratings of d.c. fuse-links

Utilization category	Typical rated d.c. voltage	Typical maximum d.c. operational voltage	Time constant
gG, gM, gU, gK	up to 500 V	+10 % over marked rating	15 to 20 ms
gN, gD	up to 500 V	+0 % over marked rating ^a	10 to 15 ms
aR, gR, gS	up to 1 500 V ^b	+5 % over marked rating ^a	15 to 20 ms
VSI (inverter rating)	up to 1 500 V ^b	+10 % over marked rating ^a	1 to 3 ms
gPV	up to 1 500 V ^b	+0 % over marked rating ^a	1 to 3 ms
^a For North American system of fuse-links, the maximum operational voltage is equal to the rated voltage			
^b Other rated voltages are available according to application			

The rated voltage of the fuse link should be recognized as the maximum system voltage in which the fuse link should be applied. The test voltage prescribed in the standard is a percentage above the rated voltage to allow for the allowable system deviations but it is also the safety factor built into products to the standard.

8 Conductor protection

8.1 General

Fuse-links are extensively used for the protection of conductors in accordance with IEC 60364-4-43.

Fuse-links can be used to ensure protection against both overload current and short-circuit current, simple and effective guidance for the selection of fuse-links are provided in the following:

- Utilization category gG see 8.2
- Utilization categorys gN and gD (North American) see 8.3
- Utilization categorys gR and gS (Semiconductor protection) see 8.4
- Utilization category gU see 8.5
- Utilization category gK see 8.6
- Utilization category gPV see 8.7

It should be stressed that IEC 60364-4-43 requires that every circuit shall be designed so that small overloads of long duration are unlikely to occur. For small overloads between 1 and 1,45 times the rated current of the overload protective device, the device may not operate within the conventional time. Ageing and deterioration of connections increase rapidly as operating temperatures exceed the rated values.

Caution: It is never acceptable to use the overload protective device as a load-limiting device. Continuous operation of the fuse-link above its rated current may result in overheating and nuisance operation.

In some applications fuse-links ensure protection against short-circuits only. In such cases overload protection shall be provided by other means.

Guidance for protection against short-circuits only is provided in 8.5 and Clause 13.

8.2 Utilization category gG

Fuse-links of utilization category gG are able to break overcurrents in the conductors before such currents can cause a temperature rise damaging the insulation.

Fuse-link selection can be easily made, taking the following steps:

- a) The maximum operational voltage (see Table 4) of the fuse-link is selected to be greater or equal to the maximum system voltage.
- b) The operational current I_B of the circuit is calculated.
- c) The continuous current-carrying capacity of the conductor I_Z is selected in accordance with IEC 60364-5-52.
- d) The rated current I_n of the fuse-link is selected to be equal or greater than the operational current of the circuit and equal or smaller than the continuous current-carrying capacity of the conductor:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

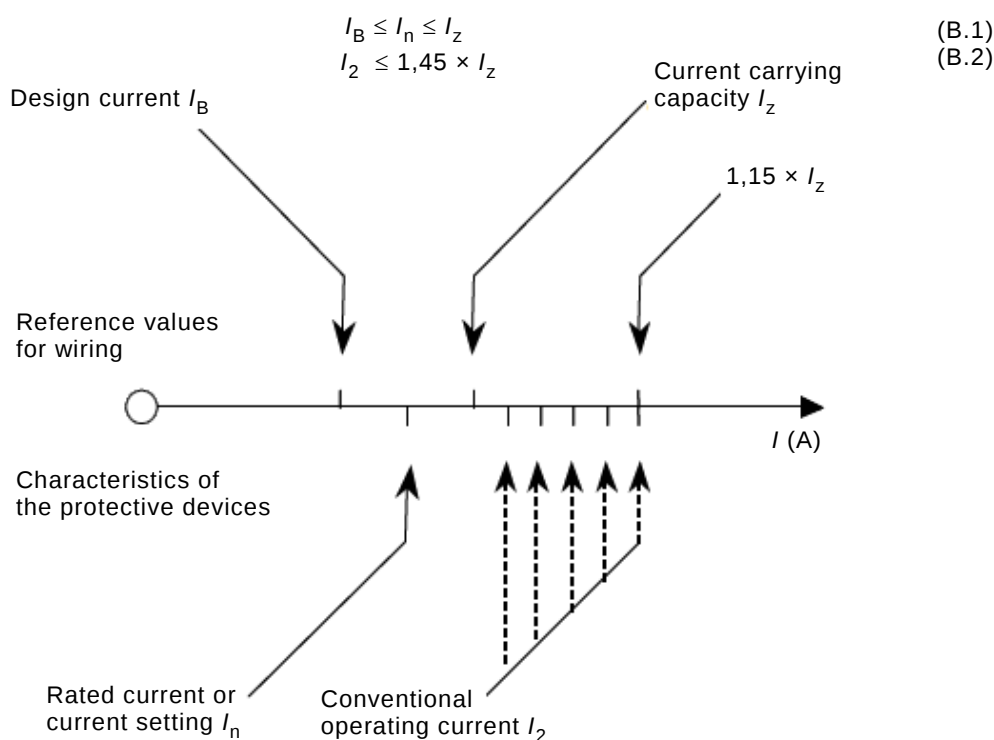
$$I_Z \leq 1,45 \cdot I_n$$

where

- I_B is the operational current of the circuit;
- I_Z is the continuous current-carrying capacity of the conductor (see IEC 60364-5-52);
- I_n is the rated current of the fuse-link;
- I_2 is the conventional tripping current [IEC 60050-442:1998, 442-05-55], see Figure 6

For gG fuses the I_2 (of IEC installation rules) is $I_t = 1,45 \cdot I_n$

When the fuse-links are selected on the above basis, the shape of the time-current characteristics ensures that the conductors are adequately protected at high over-currents.



IEC 0833/14

Figure 6 – Currents for fuse-link selection

8.3 Utilization category gN and gD

The requirements for the selection of fuses for the protection of conductors are found in the North American wiring regulations.

- The voltage rating of the fuse is selected to be equal to or greater than the maximum system voltage.
- The load current is calculated and multiplied by 1,25 for continuous loads (continuous loads are those which are present for 2 h or more).
- The conductor size is selected from an ampacity (current-carrying capacity) table found in the wiring regulations.
- The general rule for selecting the fuse is to select a standard fuse current rating to coincide with the conductor ampacity. For conductor ampacity less than 800 A, if the conductor ampacity falls between two standard fuse-link current ratings, the larger fuse-link current rating is used. For conductor ampacities of 800 A and over, if the ampacity falls in between two standard fuse-link current ratings, then the smaller fuse-link current rating is used.
- The fuse selected protects the conductor under short-circuit and overload conditions. In practice, North American conductor standards have been coordinated with fuse standards so that short-circuit protection is achieved. For other types of conductors, short-circuit withstand ratings are compared with the fuse characteristics to make sure that conductor damage does not occur.

8.4 Utilization category gR and gS

Fuse-links for the protection of semiconductor devices are covered by IEC 60269-4 (see Clause 15). Most of such fuse-links are for short-circuit protection, utilization category aR. In

some applications overload protection is required for the conductors feeding the semiconductor converter and this application is covered by utilization category gR, optimised to low I^2t values and utilization category gS, optimised to low power dissipation values.

The same selection process for the protection of conductors is used as in 8.2.

8.5 Utilization category gU

Fuse links to class gU are primarily for cable protection, as class gG, but their performance is optimised for use by supply utilities. The same selection process for the protection of cables should be used as in Subclause 8.2.

8.6 Utilization category gK

Fuse links to class gK are primarily for cable protection, as class gG, but their range of current ratings is up to 4 800 A and these are very limiting current fuses and have very low cut-off current characteristics. The same selection process for the protection of cables should be used as in Subclause 8.2.

8.7 Utilization category gPV

Fuse-links for the protection of solar photovoltaic energy systems are covered by IEC 60269-6 (see Clause 19.). These fuse-links are for overload protection and strings, array and sub-array disconnection.

8.8 Protection against short-circuit current only

In those applications where the fuse-links are to provide back-up or short-circuit protection to the conductors, then co-ordination must be ensured by providing fuse-links which let through I^2t values lower than those which can be withstood by the conductors. For fault durations of 5 s or less, the I^2t withstand of conductors may be determined from the expression

$$I^2t = k^2 \cdot S^2$$

in which S is the cross-sectional area of the conductor in square millimetres and k is a factor which depends on the conductor material and the limiting temperature which can be withstood by the insulation. Values of k for various conductor and insulation combinations are given in IEC 60364-4-43:2008, Table 43A.

9 Selectivity of protective devices

9.1 General

Selectivity of protective devices is an important point to be considered when designing low-voltage installations. The aim of selectivity is to minimize the effects of a fault. Only the faulted circuit shall be opened while the others shall remain in service. Selectivity is achieved if a fault is cleared by the protective device situated immediately upstream of the fault without operation of other protective devices.

The following explanation applies to the most widespread application, the radial network.

Selectivity may be explained using the network diagram in Figure 7. Using this diagram, several cases of selectivity may be considered:

between F_2 and F_4 $\Rightarrow$ see 9.2

between F_1 and F_3 $\Rightarrow$ see 9.2

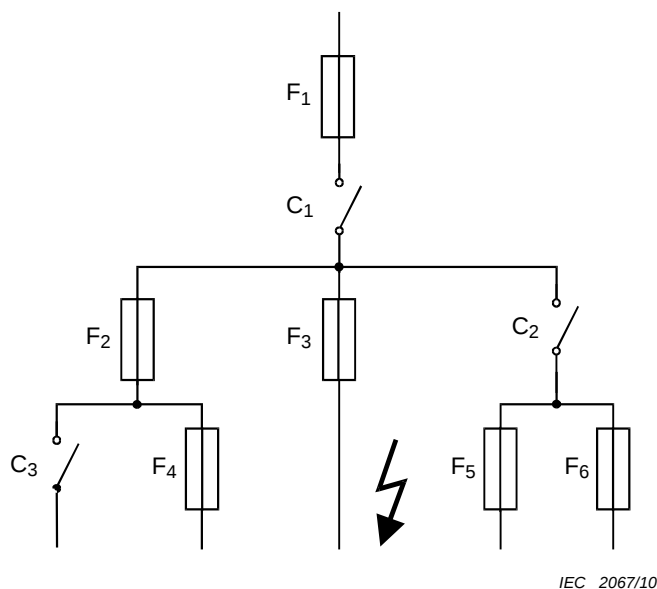
between C_1 and F_3 $\Rightarrow$ see 9.3

between C_2 and F_5, F_6 $\Rightarrow$ see 9.3

between F_2 and C_3 $\Rightarrow$ see 9.4

between F_1 and C_1 $\Rightarrow$ see Clause 14

The essential tools to investigate selectivity between protective devices are the time-current characteristics and I^2t values. IEC 60269-2 shows time-current characteristics for a time range of $\geq 0,1$ s only. The values of I^2t for a time range $< 0,1$ s shall be supplied by the manufacturer.



Key

C Circuit Breaker

F Fuse

Figure 7 – Selectivity – General network diagram

9.2 Selectivity between fuses

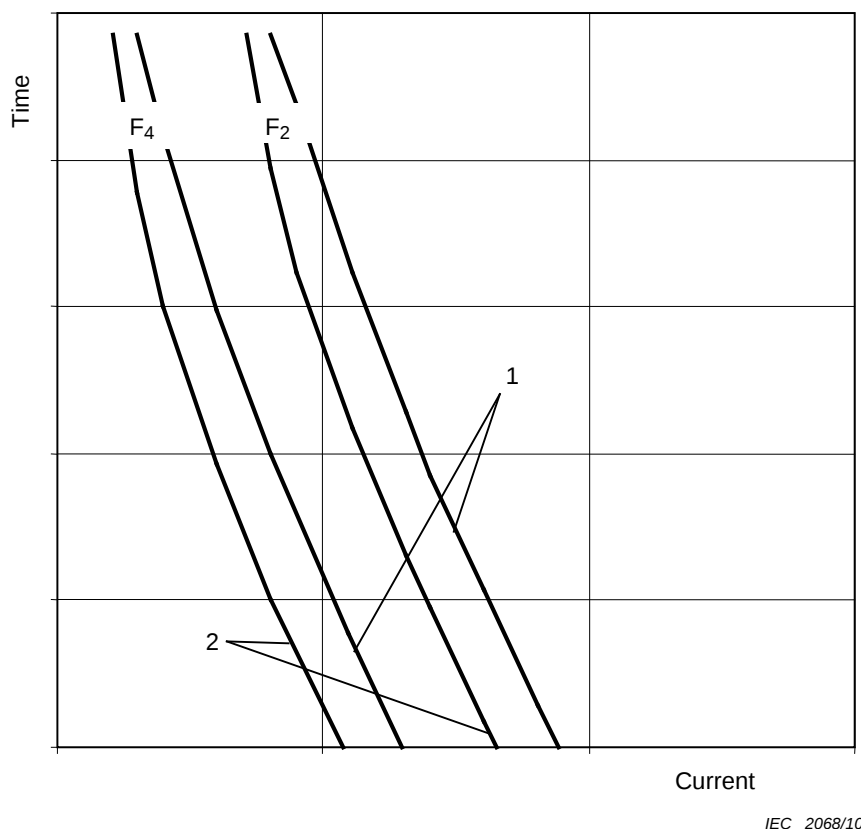
9.2.1 General

The selectivity between fuse-links is verified by means of the time-current characteristics (see Figure 8) for operating times $\geq 0,1$ s and the pre-arcing and operating I^2t values for operating times $< 0,1$ s

NOTE The fuse manufacturer will supply values of operating I^2t at the rated voltage(s) assuming very low impedance short-circuit fault. In practice the let-through I^2t will generally be a lower value due to the impedance of the fault and the actual voltage appearing across the fuse during operation.

9.2.2 Verification of selectivity for operating time $\geq 0,1$ s

The maximum operating time of F_4 shall be less than the minimum pre-arcing time of F_2 for each value of prospective current (see Figure 8).



Key

- 1 Maximum operating time
- 2 Minimum pre-arcing time

Where only one curve for the fuse link characteristic is given, the manufacturer should state the tolerance.

Figure 8 – Verification of selectivity between fuses F_2 and F_4 for operating time $t \geq 0,1$ s

9.2.3 Verification of selectivity for operating time $< 0,1$ s

For these operating times, the I^2t values shall be considered. The maximum operating I^2t value of F_4 shall be lower than the minimum pre-arcing I^2t of F_2 .

9.2.4 Verification of total selectivity

Both above requirements set out in 9.2.1 and 9.2.2 shall be met to achieve total selectivity between F_2 and F_4 . These verifications are made by examination of the manufacturer's time-current characteristics and I^2t values.

Fuses according to IEC 60269-2 of the same utilization category, e.g. gG, with rated currents ≥ 16 A, meet these total selectivity requirements by definition if the ratio of rated currents is 1,6: 1 or higher. No additional verification by the user is therefore needed. In case of gN or gD fuses with rated current above 15 A the ratio is 2:1.

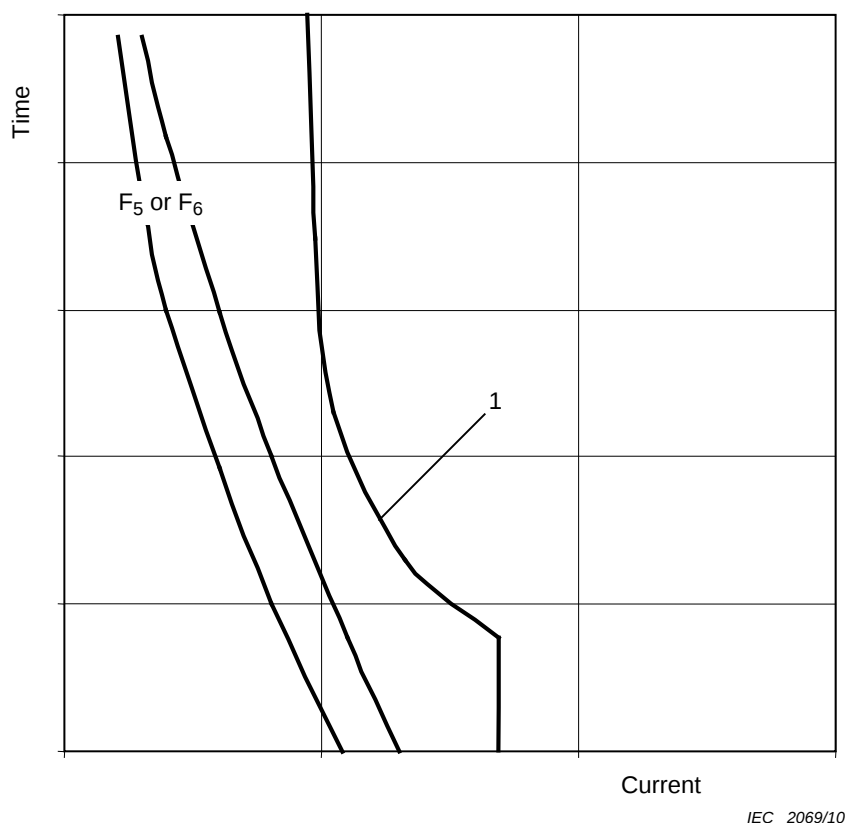
9.3 Selectivity of circuit-breakers upstream of fuses

9.3.1 General

The selectivity is verified by using time-current characteristics, I^2t values or by testing.

9.3.2 Verification of selectivity for operating time $\geq 0,1$ s

The maximum operating time of F_5 or F_6 shall be lower than the minimum tripping time of C_2 (see Figure 9).



Key

- 1 Minimum tripping characteristic of C_2

Figure 9 – Verification of selectivity between circuit-breaker C_2 and fuses F_5 and F_6

9.3.3 Verification of selectivity for operating time $< 0,1$ s

The operating I^2t value of the fuse must be smaller than the minimum tripping I^2t of the circuit breaker.

Data for I^2t values of fuses can be taken from the standard values.

Data from the circuit breaker can be taken out of its time-current characteristics and in the zone of instantaneous tripping, data must be provided by the manufacturer.

9.3.4 Verification of total selectivity

The requirements of both 9.3.2 and 9.3.3 shall be fulfilled to obtain total selectivity between C_2 and F_5 or F_6 .

In practice, circuit-breaker manufacturers give selectivity tables between circuit-breakers and selected fuses. Such choices are also valid for equivalent or lower rated current fuses.

9.4 Selectivity of fuses upstream of circuit-breakers

9.4.1 General

The selectivity is verified by means of time-current characteristics and I^2t values or by testing.

9.4.2 Verification of selectivity for operating time $\geq 0,1$ s

The maximum operating time of the circuit-breaker C_3 shall be lower than the minimum pre-arcing time of the fuse F_2 (see Figure 10).

9.4.3 Verification of selectivity for operating time $< 0,1$ s

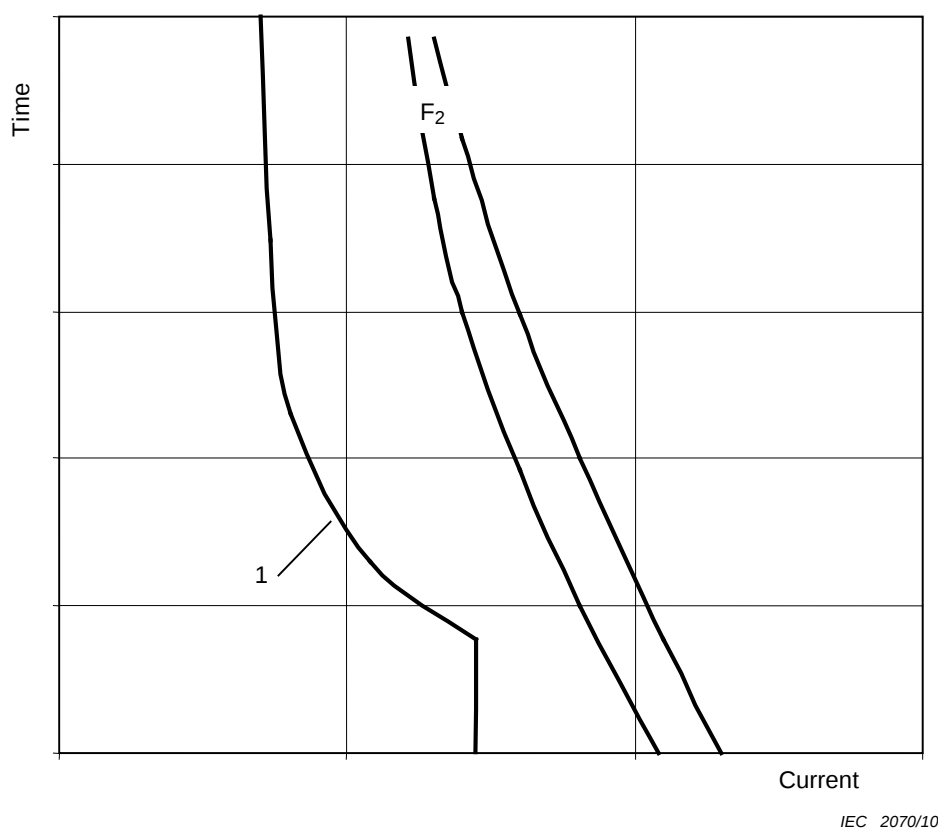
The minimum prearcing I^2t value of the fuse must be bigger than the maximum tripping I^2t of the circuit breaker.

Data for I^2t values of fuses can be taken from the standard values.

Data from the circuit breaker can be taken out of its time-current characteristics and in the zone of instantaneous tripping, data must be provided by the manufacturer.

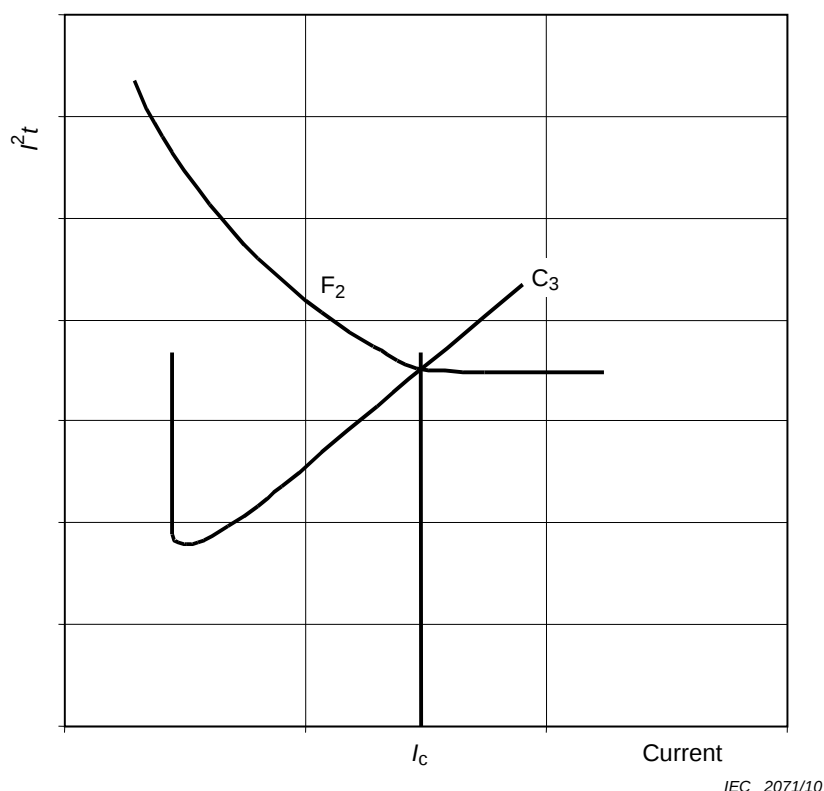
9.4.4 Verification of total selectivity

The requirements of both 9.4.2 and 9.4.3 shall be met to achieve total selectivity between C_3 and F_2 . For prospective currents below I_C (see Figure 11) selectivity is achieved. For prospective currents above I_C , selectivity is not achieved.

**Key**

- 1 Tripping characteristic of C₃

Figure 10 – Verification of selectivity between fuse F₂ and circuit-breaker C₃ for operating time $t \geq 0,1$ s



NOTE I_c is the selectivity limit current.

Figure 11 – Verification of selectivity between fuse F_2 and circuit-breaker C_3 for operating time $t < 0,1$ s

10 Short-circuit damage protection

10.1 General

A short-circuit or fault occurs when a low impedance current path becomes available between two live parts or between live parts and earth, usually due to insulation breakdown, mechanical damage, wiring error or accident.

10.2 Short-circuit current paths

If the current path is a solid connection, the current rises to a value dependent on the voltage and the impedance of the conductors involved. Typically, the connection is very low impedance and the current is then quite high so that mechanical and thermal damage to conductors and insulation systems result. Mechanical damage to conductors is due to magnetic forces which attract or repel circuit conductors thus bending them and destroying insulation systems. Thermal damage to conductors is due to overheating and compromised insulation systems, followed by conductor melting and arcing.

If the current path is not a solid connection, an electrical arc takes place at the point of poorest connection. This event is referred to as an “arcing fault”. The current rises to a value dependent on the impedance of the conductors plus the impedance of the arc. Typically conductor mechanical and thermal damage result accompanied by localized conductor melting and metal vaporization at the point of arcing. Metal vaporization in air in the presence of an electrical arc is a dangerous condition, and an explosion results (an arc blast). Its severity is dependent on a number of circuit parameters but primarily on how much electrical energy is available and how much melted material is available to vaporize.

10.3 Current limitation

Fuses offer one of the most cost effective methods for protecting equipment, personnel and components from damage due to short-circuits, faults, and arcing faults. The reason behind this is the inherent current limiting ability of fuse-links. As discussed earlier, fuse-links melt and break the current very rapidly when exposed to high current levels (see 5.3.2). Peak current I_C which occurs just after the fuse-link melts is well below the prospective current and operating I^2t is kept low since the filler within the fuse body extinguishes the arcs taking place between the parts of the fuse-link (typical fuse clearing times are less than half a cycle). These low I_C , less than half cycle clearing times, and low operating I^2t provide the following benefits in case of a short-circuit or arcing fault:

- No mechanical or thermal damage to conductors or insulation systems.
- Little or no melting or arcing at the site of the fault.
- High reduction of arc energy levels resulting in effective mitigation of arc blast.

10.4 Rated conditional short-circuit current, rated breaking capacity

Assemblies of and components in electrical systems are assigned a short-circuit rating by the manufacturer which is the maximum permissible prospective short-circuit current in terms of magnitude and time that the device will withstand at its terminals.

This rating is established by test. If such a device contains or includes a fuse-link as an integral part, it is expressed as I_{cc} , rated conditional short-circuit current (see IEC 61912-1:2007, Clause 5).

Typically current limiting fuses are designed for use in circuits with high prospective currents and when used in assemblies or switches afford a high I_{cc} rating for the assembly or switch. This enables the device or assembly to be more widely applied, since safe practice dictates that the I_{cc} rating of the device or assembly must be equal to or higher than the system prospective short-circuit current.

11 Protection of power factor correction capacitors

IEC 60269-1 and IEC 60269-2 do not contain any requirements or verification test duties for fuses in circuits containing primarily capacitors. The use of fuses according to IEC 60269-2, utilization categories gG and gN for short-circuit protection of power factor correction capacitors has been a well-established engineering practice for many years.

Reliable function of gG and gN fuses in such applications requires selection of fuse-links with respect to the following considerations:

- high inrush currents up to 100 times rated current of the capacitor;
- continuous operating current up to 1,5 times rated current of the capacitor (this includes harmonics);
- increasing service voltage up to 1,2 times during low-load periods for 5 min;
- fluctuation of the service voltage up to 1,1 times for 8 h.
- capacitance (and subsequently operating current) tolerances of +15 %;

The rated current of the fuse-link is selected so that

- the inrush currents do not melt or deteriorate the fuse-element,
- potential over-currents do not lead to premature operation of the fuse-links.

The rated current of the gG and gN fuses is selected to be 1,6 to 1,8 times the rated current of the capacitor unit or capacitor bank. Under this condition, the fuse provides reliable short-circuit protection to the capacitors. Overload protection, if necessary, must be provided by

additional suitable means. As a general rule, fuses for power factor correction capacitors have to be oversized with respect to rated current and rated voltage. This is especially true as regards small capacitor units having a higher inrush current related to their rated current.

NOTE Cross-sections of the connecting cables are selected according to the fuse current rating (see 8.2).

Recommended fuse selection for the most common sizes and voltages of power factor correction capacitors is shown in Table 6.

**Table 6 – Fuse selection for power factor correction capacitors
(fuses according to IEC 60269-2, system A)**

	Rated Voltage (three-phase 50 Hz system)			
Power factor correction capacitor	400 V k = 2,5	525 V k = 2	690 V k = 1,5	1 000 V k = 1,5
Fuse	500 V	690 V	1 000 V ^a	1 500 V ^b
Capacitor size Q_N	Rated Current I_N of the fuse			
Up to 5 kVAR	16 A			
Up to 7,5 kVAR	20 A			
Up to 12,5 kVAR	32 A (35 A)	32 A (35 A)		
Up to 20 kVAR	50 A		32 A (35 A)	
Up to 25 kVAR	63 A	50 A		
Up to 30 kVAR	80 A	63 A	50 A	32 A (35 A)
Up to 40 kVAR	100 A	80 A	63 A	
Up to 50 kVAR	125 A	100 A	80 A	50 A
Up to 60 kVAR	160 A	125 A	100 A	63 A
Up to 80 kVAR	200 A	160 A	125 A	80 A
Up to 100 kVAR	250 A	200 A	160 A	100 A
Up to 125 kVAR	315 A	250 A	200 A	125 A
Up to 160 kVAR	400 A	315 A	250 A	160 A
Up to 200 kVAR	500 A	400 A	315 A	200 A
Up to 250 kVAR	630 A	500 A	400 A	250 A
^a 690 V may be possible under certain conditions, check with manufacturer.				
^b 1 200 V or 1 300 V may be possible under certain conditions, check with manufacturer.				

The rated current of the fuse may be calculated from the following rule of thumb:

$$I_n = k \cdot Q_N$$

where

I_n fuse rated current, in A;

Q_N capacitor size, in kvar;

k factor from Table 6.

12 Transformer protection

12.1 Distribution transformers with a high-voltage primary

Transformers feed most low-voltage distribution systems from a high-voltage, above 1 000 V a.c. primary. Short-circuit protection of these transformers are generally provided by

high voltage fuse-links on the primary, and such fuse-links are selected to withstand the transformer magnetising inrush current during energization.

Low-voltage fuse-links on the secondary side of such distribution transformers give protection to their associated feeder circuits. Such fuse-links have to be selective with the fuse-links on the primary side of the transformer, taking into account the appropriate transformation ratio.

12.2 Distribution transformers with a low-voltage primary

Low-voltage distribution systems following North American practice often have transformers with a low-voltage primary and secondary for example 480/277 V to 208/120 V. Such transformers may typically have ratings up to a few thousand kVA.

Fuse-links on the primary side are used to provide short-circuit protection and fuse-links may be used on the secondary side to provide overload protection to the transformer. In some cases only primary circuit fuse-links are used while in other cases additional feeder circuit fuse-links are used on the secondary side, as in 12.1.

The primary side fuse-links have to be selected to withstand the magnetising inrush current and an industry guide is:

- 20 times transformer primary full load current for 0,01 s and
- 12 times transformer primary full load current for 0,1 s
- Selectivity for the primary and all the secondary fuse-links and any other over-current protection has to be made taking into account the appropriate transformation ratio.
- In some applications transformers with a low-voltage primary and secondary are used for example battery chargers and tools, for safety reasons, fed from voltages up to 110 V.

12.3 Control circuit transformers

For these low power transformers, the peak inrush magnetising current in the first half cycle can be as high as 100 times the full load current. Many control circuit transformers have internal thermal protection since the over current devices on the primary side shall be greatly oversized to account for the tremendous inrush currents.

13 Motor circuit protection

13.1 General

Fuses are commonly used as part of the protection in motors and motor-starters circuits. General-purpose fuses (utilization category gG and gN) can be used for this purpose. Their current rating shall be chosen to withstand the starting current of the motor, which is dependent on the method of starting used, e.g.

- 6 to 8 times the rated motor current for direct on line starting,
- 3 to 4 times the rated motor current for star delta or autotransformer.

The rated current of the fuse may therefore be significantly higher than the rated current of the motor.

Special types of fuses exist for this application, such as gD and gM utilization category fuses which are full range breaking capacity fuses and aM utilization category back-up fuses designed to provide short-circuit protection only. These special utilization categories of fuses are designed to withstand high motor starting currents without the need for increasing the current rating as required for general purpose utilization categories. Characteristics for these utilization categories can be found in IEC 60269-1 and IEC 60269-2.

Fuse manufacturers provide motor fuse application data. Fuses for motor circuit protection are chosen to be selective with the motor protection provided by the overload-relay associated with the motor-starter.

13.2 Fuse and motor-starter coordination

The coordination between motor-starters and the fuses which protect them is covered in IEC standards by requirements and tests such as those in IEC 60947-4-1. Two kinds of co-ordination are defined: type 1 and type 2 (see also Table A.3).

The aim of successful coordination is to ensure adequate protection against short-circuit current and selectivity between starter and fuses. Satisfactory selectivity will avoid damage to the contactor and unexpected opening of the motor circuit.

Recommendations for suitable fuse-links for use in combination with a contactor/motor-starter can be found in manufacturers' catalogues.

The aim of this subclause is to give guidance to the end-user to find an alternative replacement fuse to the one specified by the manufacturer of the starter. Relevant installation codes must be followed.

More detailed information is given in Annex A to specify the tests and calculation necessary to achieve the coordination between the motor-starter and the fuse which protects it.

Tests are specified at three levels of prospective current, according to IEC 60947-4-1:

- a) in the region of the current I_{co} defined as the co-ordination at the crossover current (see 13.4). Tests are made at $0,75 I_{co}$ when the starter shall disconnect the current without damage and the fuse does not operate, and at $1,25 I_{co}$ when the fuse shall operate before the starter (see Figure 12). The verification of co-ordination at the crossover current is also possible by an indirect method (see B.4.5 of IEC 60947-4-1:2009);
- b) at the appropriate value of prospective current "r" shown in IEC 60947-4-1:2009, Table 12 (see Table A.2);
- c) at the rated conditional short-circuit current I_q stated by the manufacturer of the switching device, if higher than the test current "r".

The fuse selected shall withstand the motor starting current and is normally selected from the recommendations of the manufacturer and in compliance with national installation codes and wiring rules.

Examples of suitable fuse-links used for motor protection are given in Table A.1.

The cross-over point of the fuse and the starter characteristics shall be within the breaking capacity of the contactor and the fuse is selected so that it does not operate while carrying the starting current of the motor (see Figure 12).

13.3 Criteria for coordination at the rated conditional short-circuit current I_q

Guidance for choosing the maximum rated current of an alternative fuse type: Annex A of IEC 61912-1:2007 details the method to be used. Basically the following shall be fulfilled.

The values of the voltage, the current and the conditional short-circuit current (I_q) for the circuit shall not be higher than the reference tested data.

Considering the characteristics of the substitute fuse, the I_{co} and I^2t values shall be determined for the rated conditional short-circuit current I_q and at the voltage $U \sqrt{3}/2$.

The values of I_{CO} and of I^2t determined as above shall be not greater than the reference test values.

Conformity with the above shows that the fuse substitution is valid and no further verification tests are required.

13.4 Criteria for coordination at the crossover current I_{CO}

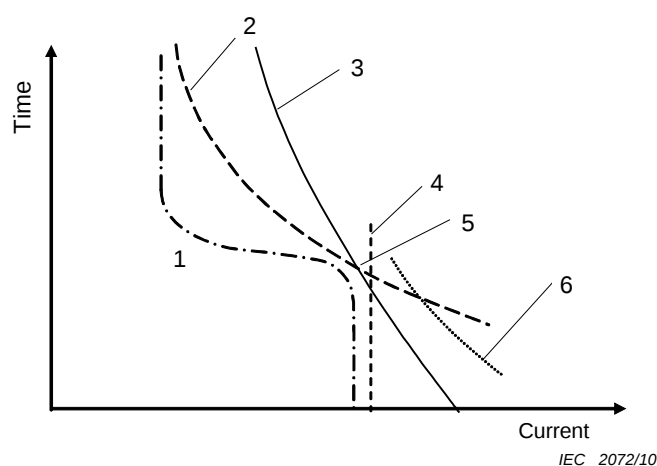
I_{CO} is the current corresponding to the intersection of the mean time-current characteristics of the fuse and the overload relay of the starter (see Figure 12). Tests are prescribed for ensuring proper coordination at I_{CO} in IEC 60947-4-1:2009, Clause B.4.

Important factors are:

- the no-damage characteristic of the overload relay;
- I_{CO} must be lower than the electrodynamic withstand current of contacts of the contactor and overload relay.;
- the operating time-current characteristic of the associated fuse at currents above I_{CO} must be lower than the no damage characteristic of both the overload relay and the contactor in the region, where the fuse has take over the protective duty.

Thus, if an alternative replacement fuse type is used without further testing, its cross-over current shall not exceed the value of I_{CO} observed in the type test, and its time-current characteristic at currents above I_{CO} shall not show any greater times than the fuse used in the tested combination or damage to the starter may occur.

A fuse chosen in this way and in accordance with IEC 60947-4-1 provides protection for the starter and associated equipment at overcurrents exceeding the breaking capacity of the starter up to the rated conditional short-circuit current of the starter.



Key

- | | |
|---|--|
| 1 Motor current | 4 Breaking capacity of the contactor |
| 2 Time-current characteristic of the overload relay operation | 5 Crossover current I_{CO} |
| 3 Time-current characteristic of the fuse-link | 6 Thermal limits of the overload relay |

Figure 12 – Fuse and motor-starter coordination

13.5 Criteria for coordination at test current “r”

Basically, the characteristics to be considered for the alternative fuse are the I_c and I^2t values as suggested in Annex A of IEC 61912-1:2007. It is generally assumed that where these conditions are fulfilled for the I_q values, they are also fulfilled for the current “r”.

14 Circuit-breaker protection in a.c. and d.c. rated voltage circuits

Circuit-breakers having breaking capacities lower than the system prospective short-circuit current must be protected by an additional upstream short-circuit protective device (SCPD) having a sufficiently high breaking capacity.

Current limiting fuse-links offer an extremely cost-effective solution for this type of application (see Figure 7, F_1 and C_1). In case of short-circuits, current limiting fuse-links open rapidly (in less than $\frac{1}{4}$ cycle) thus reducing the prospective current and hence the electrical energy seen by the downstream circuit-breaker to levels well within the circuit-breakers capability.

The fuse used can be of the general purpose utilization category (gG and gN), the back-up utilization category (aM), or the full range utilization category as used on motor circuits (gD and gM).

Proper selection of fuse utilization category and its rating to protect a particular circuit-breaker is not simple, and reliable results cannot be completed solely by calculation.

The primary reason for this selection problem is that peak current and let-thru I^2t withstand levels vary between circuit-breaker types and among circuit-breaker manufacturers. To assure personnel safety and satisfactory protection of the circuit-breaker, fuse utilization category and ratings are tested in combination with downstream circuit-breakers.

The results of these tests and acceptable series fuse/circuit-breaker combinations are available by consulting the fuse or circuit-breaker manufacturers or appropriate notified bodies, who have witness tested these combinations.

It is possible to select an alternate utilization category of fuse types different from those fuses used in the series testing provided that alternate fuse type has values of I_p and operating I^2t less than or equal to the values of the fuse originally tested.

15 Protection of semiconductor devices in a.c. and d.c. rated voltage circuits

The I^2t withstand values of semiconductor devices of given ratings are considerably lower than those of other devices and circuits of corresponding ratings. Fuse-links used in circuits containing semiconductor devices shall therefore be capable of operating more rapidly at given currents than fuse-links used in other applications.

It is usual for several semiconductor devices to be present in one piece of equipment, such as a rectifier or inverter. The protective equipment should ideally ensure that the following conditions are met:

In the event of a semiconductor device failing, interruption should be effected quickly enough to prevent damage to other devices. (In this connection, experience has shown that semiconductors fail as a short-circuit and a large current results.)

For other faults in the equipment, interruption should take place before there is consequential damage to the semiconductor devices. Potentially damaging over-currents should be cleared before devices are damaged.

Operation of the fuse-links should not cause unacceptably high over-voltages to be impressed on any of the semiconductor devices.

The performance requirements for fuse-links for the protection of semiconductor devices are given in IEC 60269-4 and such fuse-links have traditionally been the "partial range" or "back-up" category, utilization class aR. While partial range rectifier protection fuse-links (aR) provide fast protection to devices, in many systems alternate protection of thermal triggered

overload devices, gG fuse-links or other circuit protective devices may need to be included to protect other circuit elements. The lower limit of capability of a type aR fuse-link is defined in terms of the multiple of the rated current.

As protection schemes and practices have developed, there is a growing need for fuse-links for the protection of semiconductor devices with “full range” breaking capacity, which will eliminate the need for one or more of the components mentioned above. An example is to place fuse-links at the head of the supply, rather than in the converter cubicle. In this case the fuse-link needs to give protection to the cable, in addition to the power semiconductors in the converter equipment.

Two additional full range classifications were introduced into IEC 60269-4 namely “gR”, optimised to give low I^2t and “gS” optimised to give low power dissipation. The “gS” fuse-links usually give compatibility with standardized fuse-bases and fuse combination units. Both gR and gS fuse-links must operate within the conventional time at 1,6 times their rated current, however they must carry the value shown in Table 7 for the conventional time.

Table 7 – Conventional non fusing current

Type "gS"	Type "gR"
1,25 I_n	1,13 I_n

Depending where the fuse-link is positioned in a circuit utilizing semiconductors the fuse-link may have to be rated for a.c. fault conditions, d.c. fault conditions or both. Fuse-links with adequate voltage ratings and breaking capacities should be chosen.

The d.c. voltage rating of the fuse-link is dependent of the circuit time constant that may be achieved by a fuse-link. The time constants to which fuse-links for the protection of semiconductors are tested are indicated in the standard and are representative of time constants in typical power systems. The protection of voltage source inverters (VSI) is a special case, provided when capacitors are used in the power circuit. In VSI's the circuit time constant may be significantly lower than traditional d.c. systems and thus IEC 60269-4 includes specific test requirements for fuse-links that can then be assigned a VSI voltage rating in addition to the a.c. and d.c. voltage ratings assigned.

Manufacturers of fuse-links for the protection of semiconductor devices give comprehensive guidance for the selection of fuse-links for a wide variety of applications. In addition, useful information is given in the following:

- Annex AA of IEC 60269-4:2009 gives some useful guidance for the coordination of fuse-links with semiconductor devices. This annex explains the performance to be expected from the fuse-links in terms of their ratings and in terms of the circuits of which they form a part; in such a manner that this may form the basis for the selection of the fuse-links.
- Annex BB of IEC 60269-4:2009 gives a survey of information to be supplied by the manufacturer in his literature (catalogue) for a fuse-link designed for the protection of semiconductor devices.
- IEC/TR 60146-6 is an application guide for the fuse protection of semiconductor converters against over-currents. It is limited to line commutated converters in single-way and double way connections. This technical report advises the specific fuse features and on the specific converter features that are to be observed to ensure correct application of semiconductor fuses in converters, and to give specific recommendations for trouble free operation of converters protected by fuses.

16 Fuses in enclosures

16.1 General

When fuses are installed in enclosures having restricted heat dissipation, their operating temperature may reach a level that changes their standardized characteristics. The conditions for operation in service according to IEC 60269-1 consider free air with ambient temperature up to 40 °C.

There is no general rule to determine the limits for the use of fuses in practical installations, with a confined space and whose fluid environment temperature is above 40 °C. In such cases, consult the fuse and equipment manufacturers.

16.2 Limiting temperature of utilization category gG fuse-links according to IEC 60269-2 – System A

Preliminary investigations show that the limiting blade temperature of 130 °C is appropriate. It is suggested to use this temperature limit to verify the temperature rise test in fuse gear assemblies.

This gives satisfactory results for gG fuse-links according to IEC 60269-2, system A. The advantages of measuring the blade contact temperature against ambient air or terminal temperature are as follows:

- closest accessible test point to fuse-element;
- dependable temperature measurement on solid metal contacts;
- applicable to all fuse gear designs.

The limiting temperature of 130 °C is a maximum for short-time operation. In the case of continuous operation a temperature limit of 100 °C is recommended.

16.3 Other fuse-links

For other fuse-links or unusual service conditions, the user should consult the fuse manufacturer.

17 DC applications

17.1 General

Power d.c. sources are more and more used and the application will increased in the near future such as for distributed generation and for applications supplied from d.c. sources: wind power, hydropower, PV systems, geothermal energy, fuel cells, electrical vehicles charging and/or supplying an installation, batteries and other power storage applications, distribution networks, intermediate direct current links for multiple drives, d.c. / d.c. as well as a.c. / d.c. converters and control circuits.

Some d.c. power supplies have different characteristics than a.c. sources. It is the case for batteries that serves a constant power and PV cells considered to be a current source. Consideration of the types of d.c. power sources need to be taken into account when protective measures are applied and when protective devices and equipment are selected.

17.2 Short-circuit protection

Current-limiting fuses are generally suitable for both a.c. and d.c. applications. The d.c. performance of fuse-links is different from a.c. performance and a.c. ratings cannot be used for d.c. applications. There is no simple rule that safely converts an a.c. voltage rating of a

fuse-link to d.c. voltage rating. While in a.c. circuits the power factor is the major parameter to be considered, the time constant $T = L/R$ (see Figure 13) is the determining factor in d.c. circuits. As the time constant increases, the maximum d.c. operating voltage decreases. The d.c. breaking capacity of a fuse-link is found by testing it in a representative circuit.

Under d.c. short-circuit conditions, the fuse operation is similar to a.c. behaviour (see Figure 3). The cut-off currents cannot be taken from the available a.c. cut-off current curves, since they are dependent on the time constant of the circuits. DC values are found in fuse manufacturers' literature or are determined by tests.

Polarity need not to be considered with fuses, as it may be necessary for other devices.

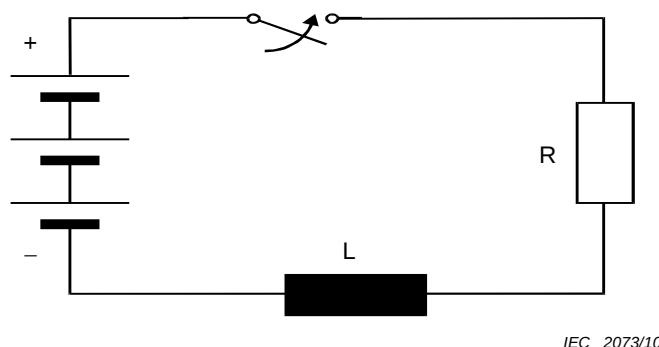
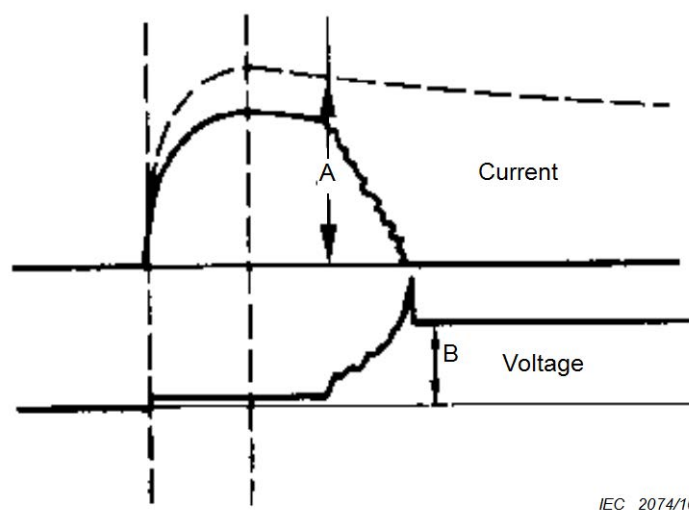


Figure 13 – DC circuit

17.3 Overload protection

Under overload conditions, i.e. non-current-limiting operation, fuse operation is different in a.c. and d.c. circuits (see Figure 14). As there is no periodic current zero, the d.c. voltage rating is lower than the a.c. voltage rating.



Key

- A Prospective current
- B Recovery voltage

Figure 14 – DC breaking operation

DC voltage ratings marked on fuse-links according to IEC 60269-2 are related to a time constant of 20 ms with a breaking capacity of at least 25 kA. Different voltage ratings apply for higher or lower time constants and may be taken from the fuse manufacturer's literature or determined by tests. The typical operational voltage ratings of d.c. fuses are given in Table 5. The time constants of some typical applications are given in Table 8.

Table 8 – Time constants of typical d.c. circuits

Application	Time constant ms
Industrial d.c. control and load circuits	≤ 10
Battery supplies for UPS	≤ 5
DC motors and drives	20 to 40
Magnets and field supplies	Up to 1 000

17.4 Time-current characteristics

Average time-current characteristics as supplied by fuse manufacturers give the r.m.s values of the operating currents, which are identical to the d.c. values under steady-state conditions. Under transient conditions, the instantaneous and r.m.s values may be significantly different. Thus, the time-current characteristic is dependent on the time constant of the faulted circuit (see Figure 15).

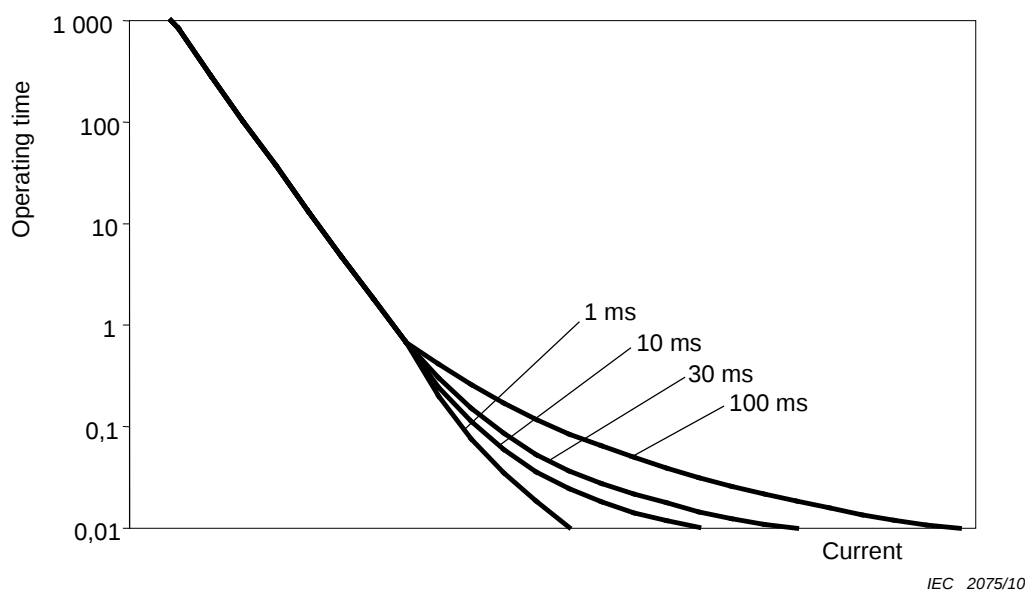


Figure 15 – Fuse operating time at various d.c. circuit time constants

18 Automatic disconnection for protection against electric shock for installations in buildings

18.1 General

A current-limiting fuse-link is a protective device which is able to provide excellent circuit protection. It can be used for protection against electric shock by automatic disconnection of supply.

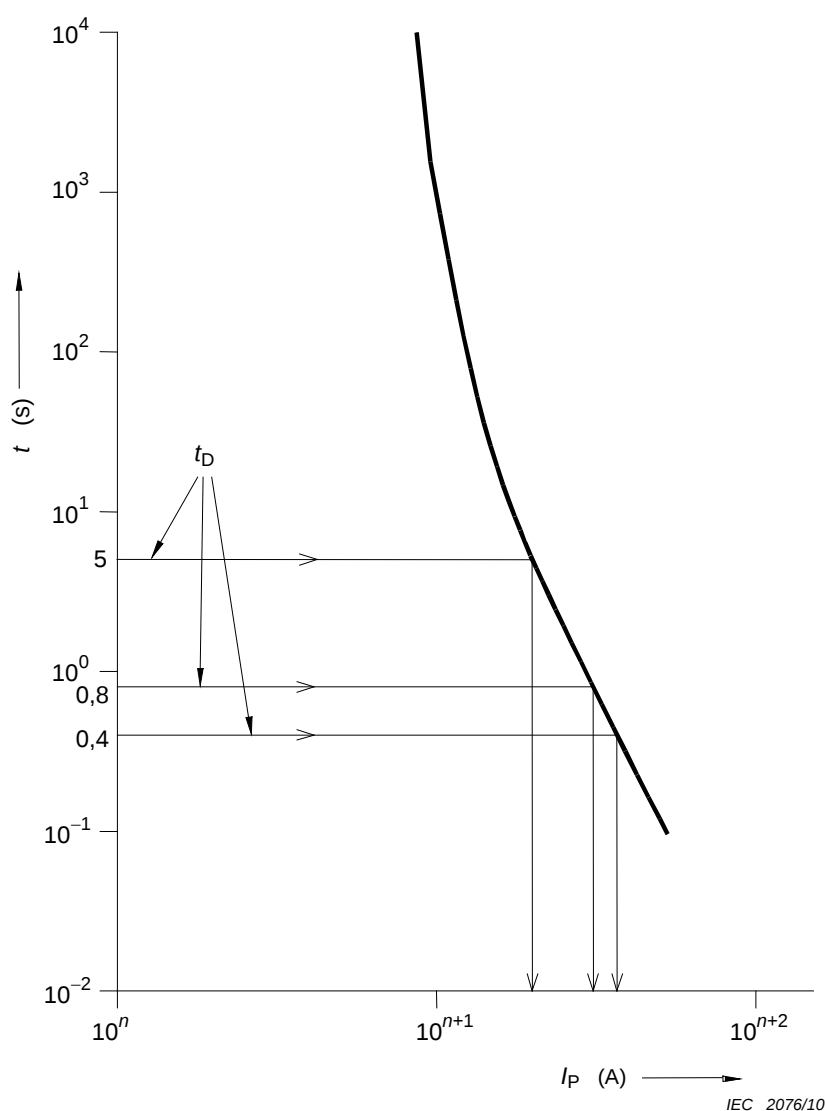
Protection by automatic disconnection of supply is dealt with in IEC 60364-4-41:2005, specifically in 413.1.

There are three basic systems of low-voltage distribution networks (TN, TT and IT).

18.2 Principle of the protection

Protection by automatic disconnection of supply is based on the fuse-link operation, which disconnects the supply circuit. In the event of a fault between a live part and an exposed (conductive) part or protective conductor, in the circuit or equipment, a prospective touch voltage exceeding 50 V a.c. or ripple-free 120 V d.c. must not persist long enough to cause harmful physiological effects to a person. Irrespective of the touch voltage, a disconnecting time not exceeding 5 s is allowed under certain circumstances. For some types of systems (TN, IT) shorter disconnecting times are required. Refer to examples in 18.3.

To determine the conditions for disconnecting the supply source with current-limiting fuse-links, the time-current characteristic shall be available. First, the required time for disconnection shall be considered according to the type of equipment protected, the type of system earthing and the environment. Second, the current I_a , which causes the operation of the fuse-link, is determined. The method is shown in Figure 16. Third, the current I_a is used to calculate the maximum permissible impedance of the fault loop or earth resistance.



Key

- t Maximum operating time
- I_P Prospective current
- t_D Disconnecting times

Figure 16 – Time-current characteristic

18.3 Examples

Example 1: System TN, 230/400 V

Procedure: Using Table 41A of IEC 60364-4-41:2005 for $U_0 = 230$ V, read the time for necessary automatic disconnection: 0,4 s. Then find the current I_a in Figure 16. The maximum permissible impedance of the fault loop can then be calculated according to the following formula:

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}$$

where

Z_s is the fault loop impedance including the source, the live conductor up to the point of the fault and the protective conductor between the point of the fault and the source;

I_a is the current causing the fuse operation within the time stated as a function of the nominal voltage U_0 or, under the condition stated within a conventional time not exceeding 5 s;

U_0 is the nominal voltage to earth.

Example 2: System TT, 230/400 V

Procedure: According to IEC 60364-4-41, a disconnecting time of 5 s is required. Determine the current I_a in Figure 16. The maximum permissible earth resistance can then be calculated according to the following formula:

$$R_A \leq \frac{50}{I_a}$$

where R_A is the total earthing resistance.

Example 3: System IT, 230/400 V, neutral not distributed, calculation for the second fault in the system.

Procedure: Read from IEC 60364-4-41 for $U_0 = 230$ V, time for necessary automatic disconnection: 0,4 s. Then find out the current I_a in Figure 16. The impedance of the fault loop can then be calculated according to the following formula:

$$Z_s \leq \frac{\sqrt{3} U_0}{2 I_a}$$

Example 4: System IT, 230/400 V, neutral distributed. Calculation for the second fault in the system.

Procedure: Read from IEC 60364-4-41 for $U_0 = 230$ V, time for necessary automatic disconnection 0,8 s. Then find out the current I_a in Figure 16. The impedance of the fault loop can then be calculated according to the following formula:

$$Z'_s \leq \frac{U_0}{2 I_a}$$

19 Photovoltaic (PV) system protection

19.1 General

PV systems consist of individual PV modules connected in series to form a “string” of modules providing a solar generated voltage which is the sum of the voltage of each cell. One or more strings may then be connected in parallel to provide a higher current level. These parallel combinations of strings are called arrays. In cases of large PV generators where multiple arrays are connected in parallel to provide even larger current levels, they are called sub-arrays. The d.c. currents generated must be changed into a.c. in order to be utilized by the power grid so an inverter (or inverters) must also be part of the system. Some PV systems contain a battery or other means of storing dc energy to improve reliability and deliver power when the sun is not present.

PV modules are inherently current-limiting and will withstand any current up to their rated short-circuit current I_{SC_STC} (see NOTE) and occasional over-currents due to irradiance levels

exceeding the value under standard test conditions. Therefore, no fuse or protective overcurrent device is needed to protect the modules against forward overcurrents.

NOTE STC (standard test conditions): PV cell temperature: 25 °C, irradiance: 1 000 W/m², relative air mass factor: AM 1,5

PV modules will be damaged by reverse currents exceeding their reverse current withstand capability $I_{MOD_REVERSE}$ as stated by the module manufacturer. Reverse currents can occur due to a number of conditions including shading and faulty modules. The effects of reverse fault currents include permanent damage to PV modules, reduced efficiency, damaged conductors, and possible electric arcs and fire. Therefore a fuse should be installed in series with each string to prevent reverse currents from other strings connected in parallel from damaging the module

The interconnecting wire and cables used to connect sub-arrays and arrays will be thermally damaged due to overcurrents beyond their rated current if allowed to persist. Therefore a fuse should be installed in each array conductor.

The following guidance for the selection of PV string fuses applies primarily to PV generators without storage batteries or with inverters that cannot back-feed from the grid. A PV system with other components, (such as batteries, converters, capacitors, etc.) will each require their own overcurrent protection. These components will not be protected by fuses installed to protect the string or array.

19.2 Selection of PV fuse-links

19.2.1 Fuse utilization category

Fuse-links specifically for PV module and array protection are described in IEC 60269-6 and are marked “gPV”. No other fuse utilization categories are suitable.

19.2.2 PV string fuses

PV string fuses are selected based on the reverse current withstand capability of the modules $I_{MOD_REVERSE}$. PV module manufacturers provide these values as a multiple of I_{SC_STC} , or state a maximum fuse current rating. (Contact the module manufacturer for this information.)

No string fuse is required in PV systems with only one or two strings in parallel; since currents cannot exceed the reverse current withstand capability of the PV modules; providing the rating of the string cables is not exceeded, if the cable rating were to be exceeded then a gPV fuse link should be included to protect the cable. For PV systems with three strings or more connected in parallel, fuse protection is always required.

19.2.3 Fuse replacement

Fuse-switch combination units are recommended to permit safe fuse-link replacement.

19.2.4 Unearthed or Ungrounded PV Systems

Unearthed (called ungrounded in some countries) PV systems require fused over-current protection in both positive and negative poles of the PV strings.

19.2.5 Functional earthing fuses

Fuses maybe used for the PV arrays earthing circuit protection. (Functional earthing fuse-link arrangements can be found in IEC 60364-7-712:2002, 4.101 and 532.103 and Table 101 and these recommendations should be followed.)

19.2.6 PV array and PV sub-array fuses

PV array and PV sub-array fuses must be installed to interrupt over-currents in these conductors before such current can cause a temperature rise damaging the insulation (see 19.2.10 for selection guidance).

19.2.7 Fuse monitoring

Fuse monitoring is recommended to identify fuse operation and to permit rapid investigation and repair of the string or array minimizing the loss of generated power.

19.2.8 Breaking capacity

PV string and array fuses are d.c. rated and must have a rated breaking capacity equal to or greater than the maximum expected fault current of the PV system.

19.2.9 Voltage of gPV fuses

The rated voltage U_n of the fuse shall be equal to or greater than the maximum open circuit voltage V_{OC} of the PV array:

$$U_n \geq 1,2 V_{OC_STC}$$

A factor of 1,2 is used since the open circuit module voltage is higher under low ambient temperatures down to -25 °C. Colder atmospheric conditions may require a larger factor (contact PV module manufacturer).

19.2.10 Rated current of gPV fuses

a) gPV fuses for strings:

gPV string fuses must interrupt the circuit before the reverse current withstand capability stated by the manufacturer module is exceeded. Therefore the following rule can be used for gPV fuses:

$$I_n \leq I_{MOD_REVERSE}$$

IEC 60 364-7-712 provides the following guidelines for the rated current I_n of the string fuse-link:

$$1,5 \times I_{SC_MOD} < I_n \leq 2,4 \times I_{SC_MOD}$$

b) gPV- PV array and sub-array fuses

IEC 60 364-7-712 provides the following guidelines for the rated current I_n of the array and sub-array fuse-link:

$$1,25 \times I_{SC\ S_ARRAY} < I_n \leq 2,4 \times I_{SC\ S_ARRAY}$$

In addition, the rated current of the cables must be greater than that of any series fuse-link utilised.

20 Protection of wind mills

There are a number of key sections of windmill generators where fuse-links are used to provide protection. The final output voltage of windmill generators will vary greatly depending on the local grid connection. Many windmill systems are employing 690 V a.c. as the operating voltage within the generator.

Fuse-links are used in many parts of the installation, including:

- Control of the pitch of the rotor

- Control of nacelle direction
- Protection of semiconductors in the rectifier and inverter
- Protection of control equipment
- Protection of output transformer or grid link components

Selection of the fuse-links for the individual applications within the windmill are covered elsewhere in this guide. When applying fuse-links in windmills, appropriate de-ratings will need to be applied for temperature extremes and/or vibration requirements which may be outside the ranges specified within the standard. In such cases the fuse-link manufacturer should be consulted. If the application area has extreme environmental conditions which exceed those described in the standard, such as extreme salt atmosphere, special fuse-links may be required.

Annex A (informative)

Coordination between fuses and contactors/motor-starters

A.1 General

Subclause 13.2 of this technical report provides guidance to select a fuse in place of (replacement fuse) the one that is specified by the contactor or motor-starter manufacturer. This annex gives additional information to select the initial fuse-link.

The coordination between motor-starters and the fuses which protect them is covered in IEC standards by test requirements such as those in the IEC 60947 series, in particular Parts 1 and 4.

Overcurrent protection of other equipment, such as motors, conductors, etc., is not covered by this annex.

A.2 Examples of suitable fuse-links used for motor protection

Recommendations for suitable fuse-links for use in combination with a contactor/motor-starter can be found in manufacturers' catalogues. The manufacturer of a contactor/motor-starter in accordance with IEC 60947-4-1 should also recommend a suitable choice of SCPD on the basis of tests he has made. The advice of the manufacturer is the best guide to the optimum choice of fuse-links for his range of products.

The current rating of the fuse most suitable for the protection of a given motor depends upon the full-load current of the motor and the magnitude and duration of its starting current. The most suitable rated current also depends upon the category of the fuse-link (gG, gM, aM, gD or gN, etc.) as is illustrated in the examples given in Table A.1 of typical fuses used in different countries in conjunction with a three-phase direct-on-line starter with a motor full-load current of 28 A. The examples are merely illustrative, and assume that the starting time is less than 10 s, that the maximum starting current does not exceed seven times full-load current, and that starts are infrequent.

Table A.1 – Examples of typical fuse-link ratings used for motor-starter protection illustrating how the category of fuse-link can influence the optimum current rating

Fuse type	Origin	Suitable rating
gG	General purpose IEC fuse	63 A
gM	Motor circuit fuse	32 M 63
aM	Back-up fuse	32 A
gN	North American fuse	70 A
gD	North American time-delay fuse	40 A

A suitable fuse-link rating should also ensure that the requirements of Clauses A.4, A.5 and 13.4 are met by the particular type and rating chosen. Of course, if the fuse-link is of the same type, rating and manufacture as was used by the manufacturer of the contactor/motor-starter in his tests, then all these requirements will be satisfied.

It is important to note that the manufacturer's recommendation should be observed if it differs from the value given in the table above.

NOTE 1 The examples are for an average motor-starting duty at a motor full-load current of 28A.

A.3 Values of I^2t and cut-off current observed in successful tests of fuse-link/motor-starter combinations worldwide

Studies carried out by the IEC committee on "Fuses" in collaboration with motor-starter manufacturers worldwide have shown no difficulty in achieving satisfactory coordination with contactors using fuses selected according to IEC 60269-2.

The main target is to avoid welding contacts on starter operating components (such as contactors circuit breaker and switches). To achieve this objective the fuse cut-off current must be lower than withstand peak current value sustainable by contacts. This information can be observed on the characteristic curves.

The rated short-circuit current (I_{cm}) can only be determined by testing the contactor, breaker or switch with a suitable current limiting fuse.

The results of an extensive survey of coordination tests in many countries were collated, and found to lie within a relatively narrow band of values of I^2t and cut-off current. These results are illustrated in Figures A.1, A.2 and A.3.

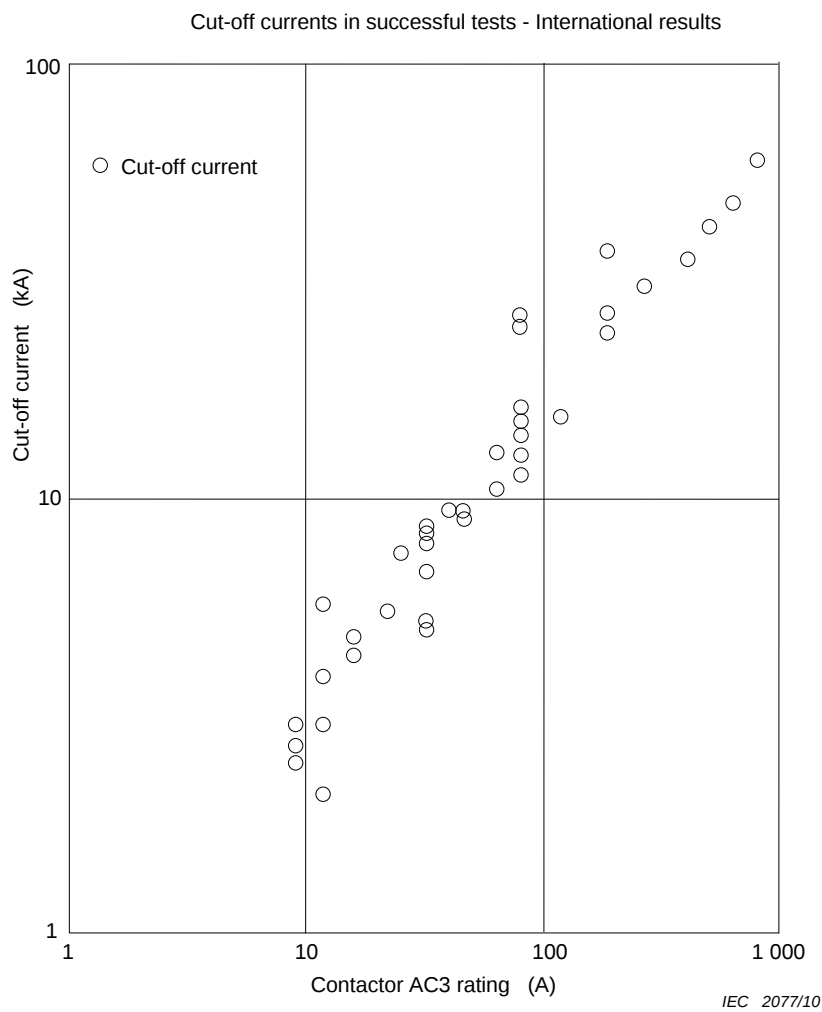


Figure A.1 – Collation of cut-off currents observed in successful coordination at I_q

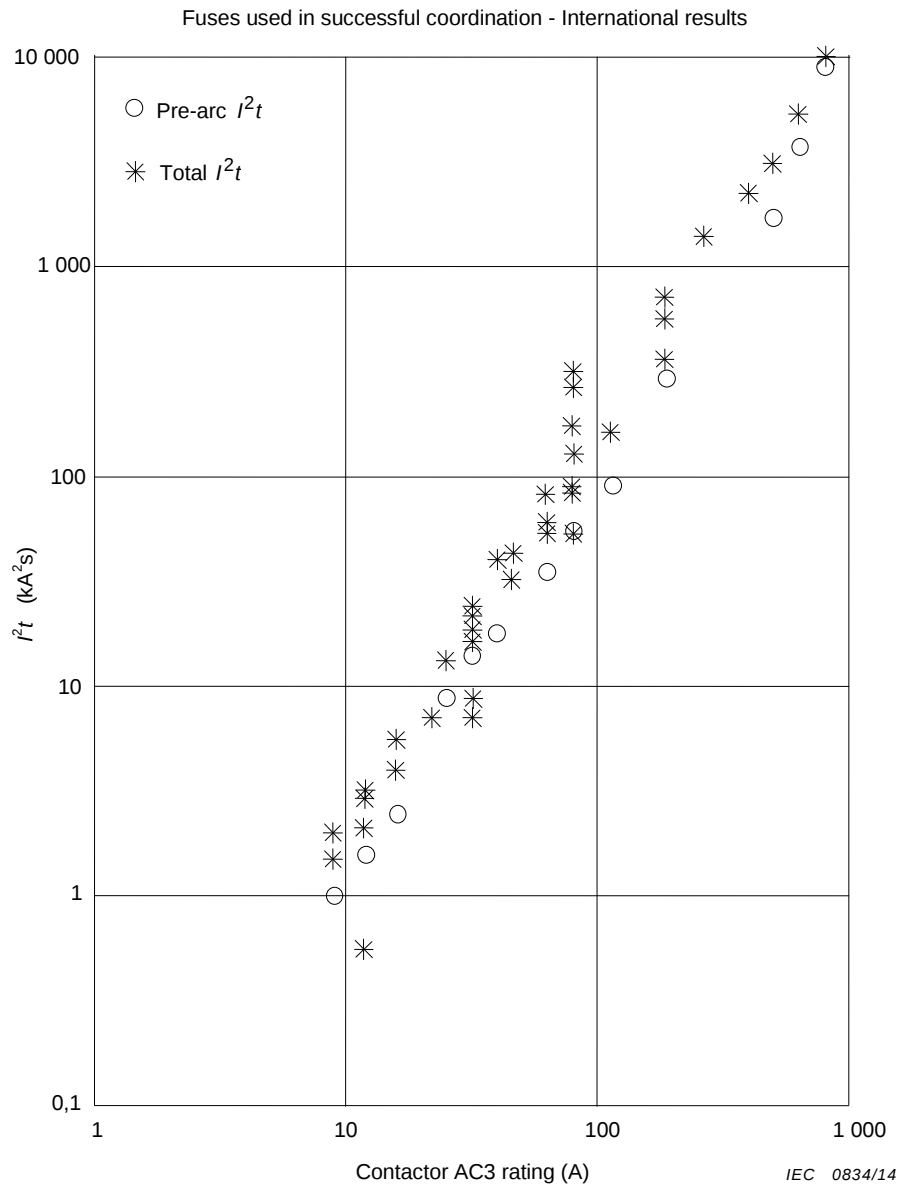


Figure A.2 – Pre-arcing and operating I^2t values of fuses used in successful coordination tests as a function of contactor rated current AC3

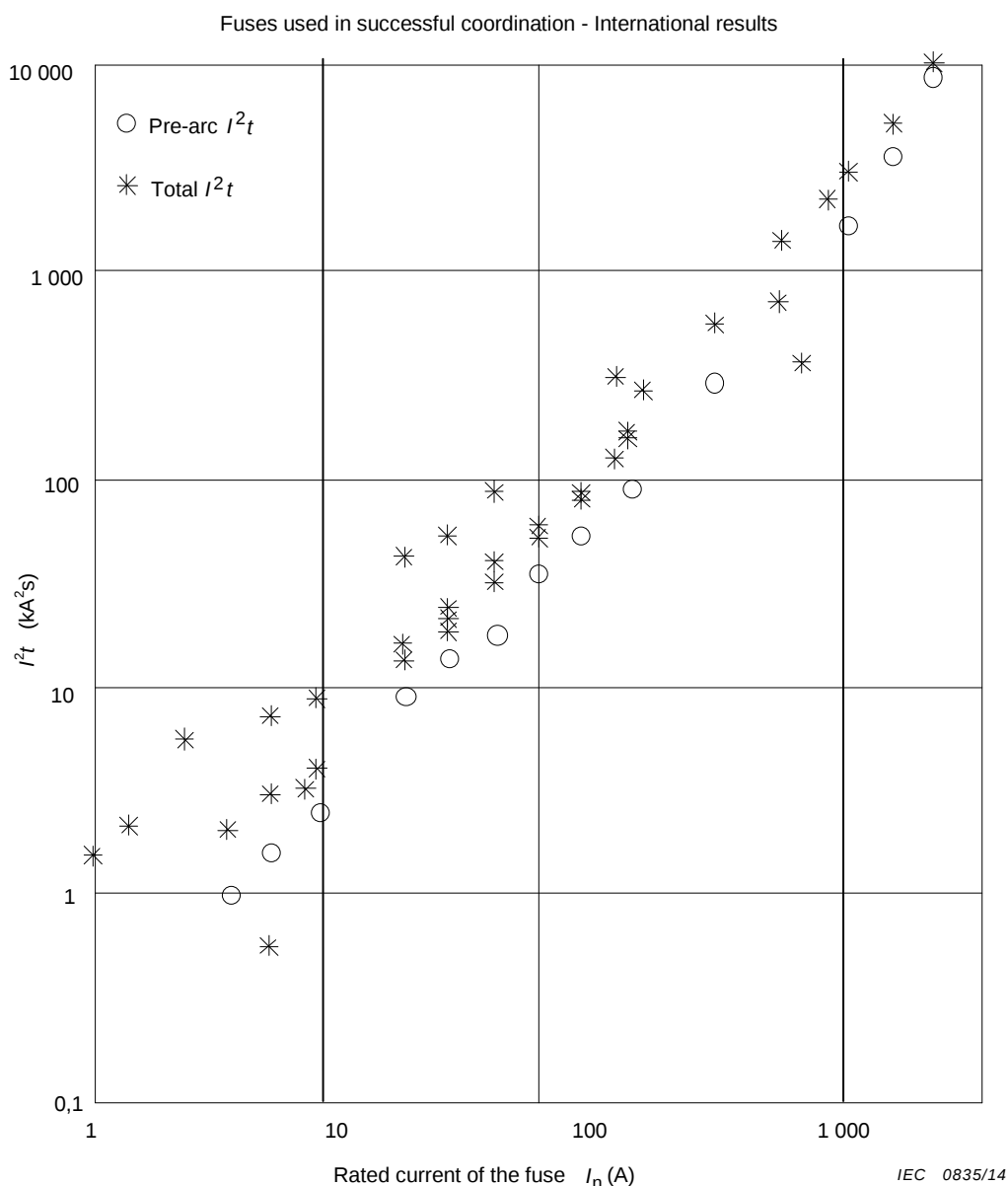


Figure A.3 – Pre-arcing and operating I^2t values of fuses used in successful coordination tests as a function of fuse rated current I_n

A.4 Criteria for coordination at the rated conditional short-circuit current I_q

A.4.1 General

IEC 60947-4-1:2009, 8.2.5 prescribes this test with the short-circuit test requirements given in 9.3.4. The acceptable damage criteria depends on the type of coordination.

A.4.2 Maximum operating I^2t and cut-off current

When a fuse is the SCPD being used, I_q can be any value up to 50 kA or more. Under these conditions, the most important parameters are the operating I^2t of the fuse-link (under the conditions of the three-phase coordination test with the starter in series with the fuse) and the maximum cut-off current of the fuse.

Values can be provided for all voltage systems and maximum I^2t values corresponding to a test voltage equivalent to the three-phase coordination test.

This will also limit the peak cut-off current, because the values are related. It has been verified, on the basis of international coordination tests at prospective currents from 50 kA to 200 kA, that at a prospective current of I_p (A), the cut-off current I_c (A) of a fuse-link of rated current I_n (A) is equal to or less than the value given by the formula:

$$I_C = 20 \cdot \sqrt[3]{I_n^2 \cdot I_p}$$

A.4.3 Guidance for choosing the maximum rated current of an alternative fuse type

From the successful results of coordination type tests at I_q , the starter manufacturer can plot the curves of the maximum I^2t withstand of the contactor and the overload relay and the maximum peak let-through current as a function of the rated operational current of the motor-starter (I_e). Such a curve is shown in Figure A.4a.

A fuse-link of a different utilization category cannot be used without further testing unless its I^2t and I_c values are equal to or less than the maximum values observed in the tests used to plot the curves. However, it may be possible to get data from the fuse manufacturer for operating I^2t values and cut-off currents measured under comparable conditions, (i.e. at an equivalent test voltage and at a prospective current equal to I_q). These will be plotted as a function of rated current I_n of the fuse. Typical curves derived from such data are shown for alternative fuses of type A in Figure A.4b and for fuses of type B in Figure A.4c. These must be plotted on the same scale as in Figure A.4a.

Note that without further testing a fuse with larger I^2t or cut-off current cannot be used. Therefore for a starter rated at $I_e = X$ (A) the maximum permissible rated current of fuses of type A is seen to be Y (A), (see Figure A.4), the I^2t of rated current Y (A) is acceptable, but the cut-off current would be too high. In the case of replacement fuses of type B, however, the limiting factor is the I^2t , and Z' (A) is therefore the highest permissible rated current to achieve satisfactory coordination with the starter at I_q (see Figure A.4).

Fuse-link types A and B could be any of the utilization categories used for motor circuit protection listed in Table A.1.

This procedure may lead to the choice of fuses of excessively low nominal current, because it does not take the additional impedance of the starter into account (e.g. in case the rated operational current of the starter is below 10 A, the overload relay impedance may have a noticeable influence). In these cases, if take additional impedance is not taken into account to estimate the prospective short-circuit current more precisely then the fuses may not be suitable to protect the starter. Direct tests will then be needed to verify coordination with fuses of higher ratings than those determined by the procedure outlined in this technical report.

A.4.4 Further guidance

In addition, the following points should be noted:

High values of clearing time increase the risk of welding of the contacts of the contactor. In evaluating the "clearing time" for this purpose consider the current is "cleared" when it remains only a small percentage (ca. 5 %) of its limiting peak value. This value may be difficult to obtain, and an acceptable method is to assume that the limiting curve is a sinusoidal waveform and from the operating I^2t (value = $[I^2t]$ in A^2s) and the peak let-through current (value = $\hat{I}$ in A) an "equivalent clearing time" t_{eq} is given by:

$$t_{eq} = \frac{2 \times [I^2 t]}{\hat{I}^2}$$

A satisfactory value for this equivalent clearing time has been found to be: $t_{eq} < 5$ ms.

NOTE 1 Risk of contact welding increases, if these high currents still persist 5 ms after the beginning of the short-circuit.

The operating $I^2 t$ of the fuse in the case of a three-phase circuit with unearthed phase is equivalent to the operating $I^2 t$ with an applied voltage of $\sqrt{3} \div 2$ times the phase-to-phase voltage.

NOTE 2 This technique gives the maximum rating for coordination at prospective current I_q . A lower rating may be necessary to provide adequate coordination for test currents I_c and/or "r". The type of coordination obtainable is determined in IEC 60947-4-1 by the results of tests at all these current levels. Guidance for proper coordination at these levels is provided in Clauses A.5 and 13.4.

A.5 Criteria for coordination at test current "r"

IEC 60947-4-1:2009, 8.2.5 prescribes this test with the short-circuit test requirements given in 9.3.4. The acceptable damage criteria depends on the type of coordination. The test current "r" (I_r) depends on the rated operational current I_e of the starter (see Table A.2).

Table A.2 (Table 12 of IEC 60947-4-1:2009) – Value of the prospective test current according to the rated operational current

Rated operational current I_e (AC-3) A	Prospective current "r" kA
$0 < I_e \leq 16$	1
$16 < I_e \leq 63$	3
$63 < I_e \leq 125$	5
$125 < I_e \leq 315$	10
$315 < I_e \leq 630$	18
$630 < I_e \leq 1\,000$	30
$1\,000 < I_e \leq 1\,600$	42
$1\,600 < I_e$	Subject to agreement between manufacturer and user

In order to be able to select a suitable fuse for adequate coordination at I_r , it is necessary to establish (from the results of type tests) curves similar to those in Figure A.4a, showing the maximum $I^2 t$ withstand of contactor and overload relay and the maximum peak let-through current at I_r as a function of I_e . Since I_r increases in steps, these curves are not continuous, and a typical set of curves will be similar to those shown in Figure A.5. The maximum acceptable ratings to give adequate coordination at I_r for each utilization category of fuse can then be established by the same method as was used to establish the maximum rating at I_q (using the method illustrated in Figure A.4 for choosing the correct rating of type A or type B fuse-links, based on the type of coordination desired, usually type 2 (see Clause A.6).

The fuse cut-off curves for this purpose may be derived from the fuse manufacturer's published cut-off characteristics (for type A or type B) using the method shown in Figure A.6. The characteristics thus derived are substituted for Figures A.4b and A.4c in order to make the evaluation at I_r , with Figure A.5 substituted for Figure A.4a.

The additional guidance given in A.4.4 applies to tests at I_r , except that the following value of t_{eq} has been found acceptable at this level of current: $t_{eq} < 6$ ms.

NOTE Due to the lower rate of rise of current than for I_q currents, the electrodynamic separation of contacts (and subsequent reclosing) occurs after a longer delay than observed for I_q currents. For this reason, the acceptable t_{eq} for current "r" is greater than the value acceptable for current I_q (see NOTE 1 of A.4.4).

A.6 Types of coordination

IEC 60947-4-1 categorizes types 1 and 2 coordination between fuses (SCPDs) and motor-starters. Performance requirements are shown in Table A.3.

Table A.3 – Types of coordination

Performance requirements	Type 1	Type 2
The short-circuit is successfully interrupted	yes	yes
Persons are not endangered	yes	yes
Conductors and terminals remain intact and undamaged	yes	yes
No damage to an insulating base which dislodges live parts	yes	yes
No damage to overload relay or other parts	no	yes*
No replacement of parts permitted during tests (other than fuses)	no	yes
No change in overload relay tripping characteristics	no	yes
Starter insulation level satisfactory after test	no	yes
* Easily separable welding of contacts permitted		

Generally, it is possible to find a suitable fuse-link to achieve type 2 coordination (the more desirable of the two) for a motor starter by following the guidance given in Clauses A.4, A.5 and A.6.

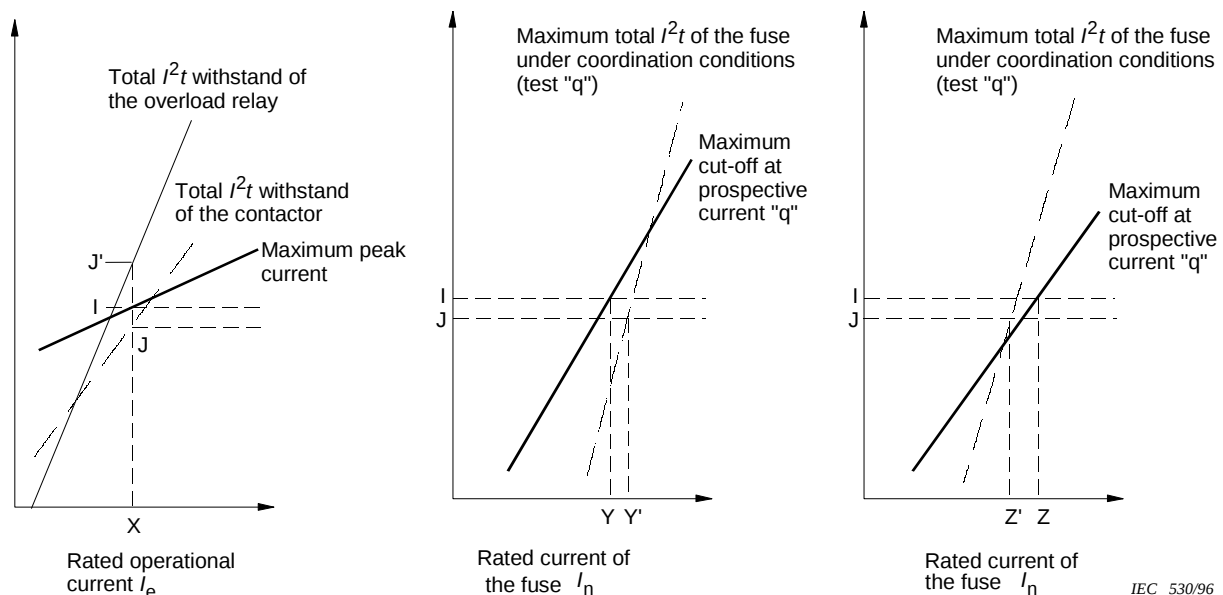


Figure A.4a – Contactor withstand at prospective current "q" (determined by the contactor manufacturer for his range of contactors)

Figure A.4b – I^2t and cut-off characteristics for fuses of type A: with cut-off current as the limitation criteria

Figure A.4c – I^2t and cut-off characteristics for fuses type B: with I^2t as the limitation criteria

NOTE Vertical scales: total I^2t values in A^2s and maximum peak current or cut-off current in kA are all plotted to the same scale.

Figure A.4 – Illustration of the method of selection of the maximum rated current of a fuse for back-up protection of a contactor of rating $I_e = X$ amperes

Method: From Figure A.4a, the I^2t withstand of the contactor rated $I_e = X$ (A) is seen to be J (A^2s) while that of the overload relay is seen to be J' (A^2s). J' is greater than J . Therefore, the lowest value J (A^2s) is chosen. The peak current withstand of the contactor at $I_e = X$ (A) is seen to be I (kA).

To the right of Figure A.4a the I^2t and cut-off characteristics measured at a prospective current "q" of fuse type A (Figure A.4b) and fuse type B (Figure A.4c) are plotted on the same scale as in Figure A.4a.

For type A fuses, the cut-off current has a value of I (kA) for a fuse rated at Y (A), and a total I^2t of J (A^2s) at a rated current of Y' (A). The lower of these ratings shall be selected. $Y' > Y$, therefore the maximum rating of type A fuses to provide adequate protection is Y (A).

For type B fuses, the cut-off current has a value of I (kA) for a fuse rated at Z (A), and a total I^2t of J (A^2s) at a rated current of Z' (A). The lower of these ratings shall be selected. $Z > Z'$, therefore the maximum rating of type B fuses to provide adequate protection is Z' (A).

This technique gives the maximum rating for coordination at I_q . It should be checked that this rating would also provide adequate coordination at I_{co} and I_r .

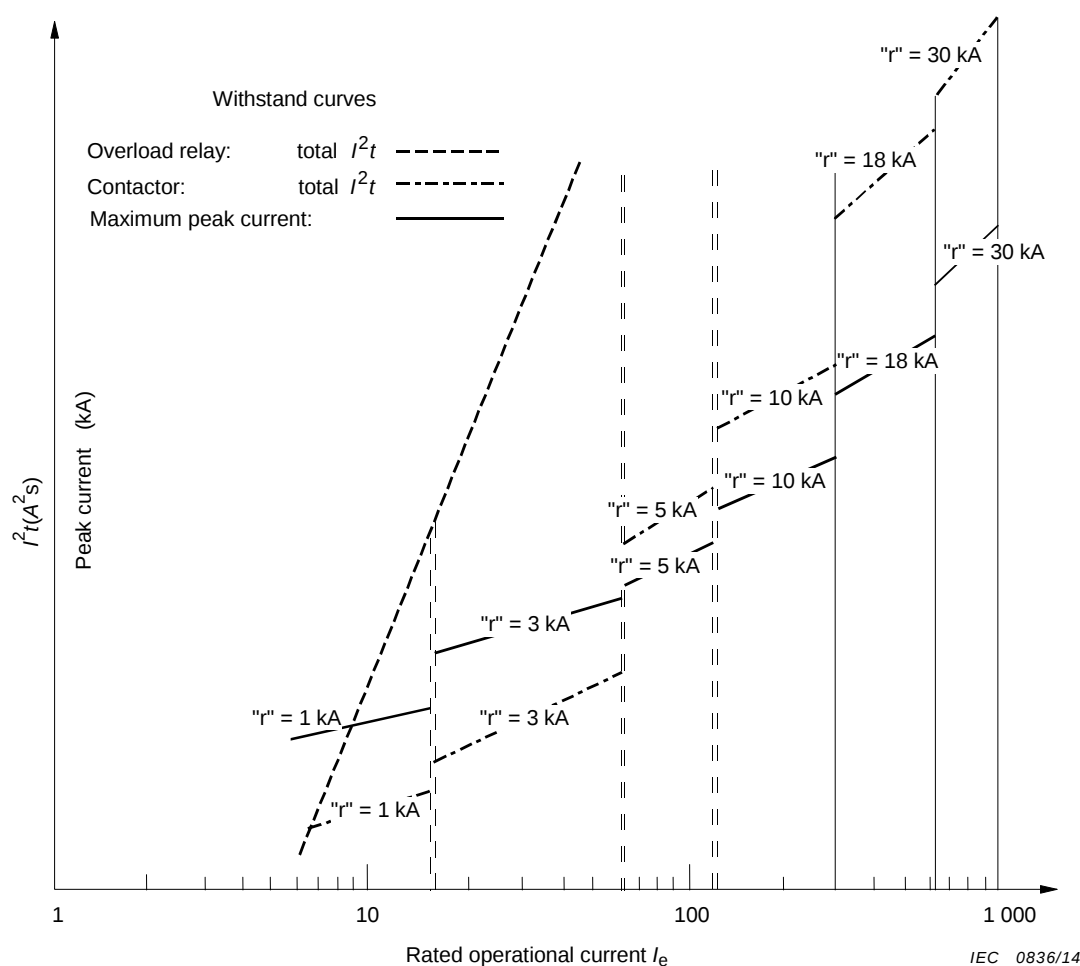
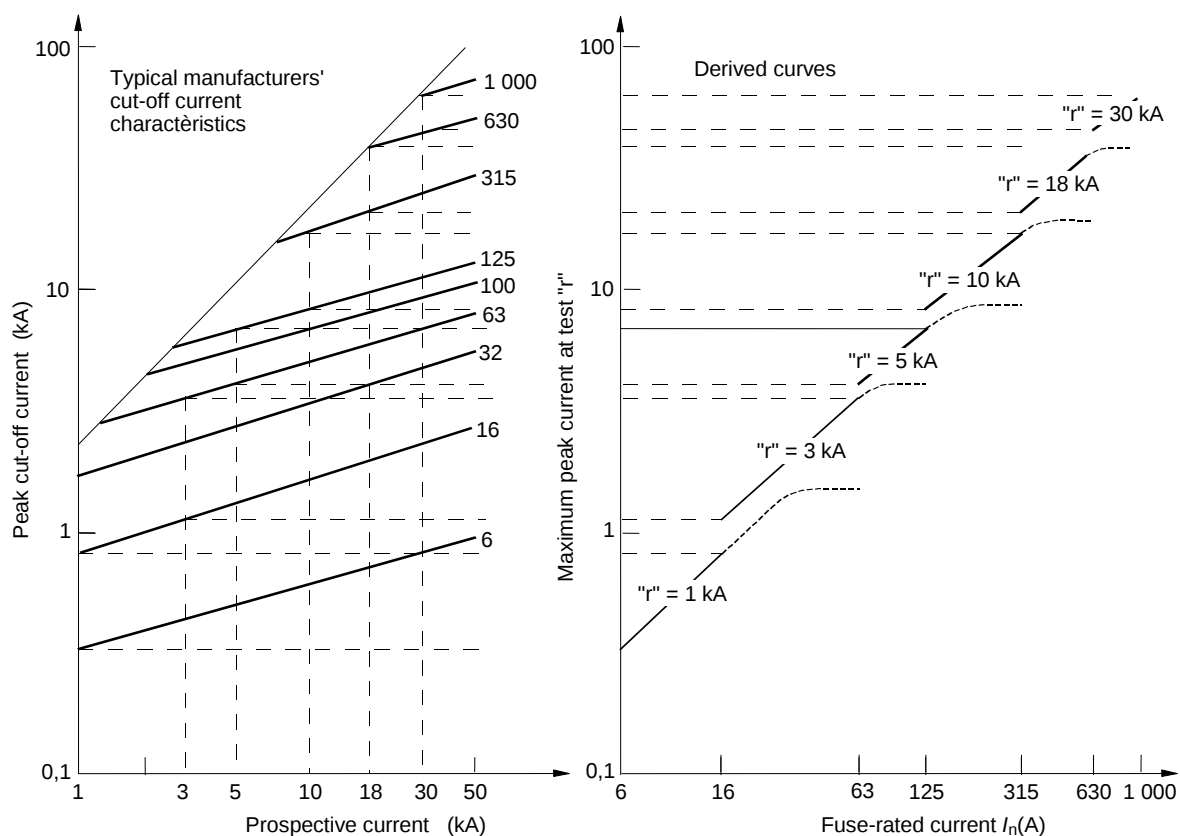


Figure A.5 – Withstand capabilities of a range of contactors and associated overload relays at test current "r"



IEC 0837/14

NOTE 1 These values are maximum values. Actual peak currents will be lower due to the impedance of the contactor and its overload relay.

NOTE 2 Typical cut-off characteristics are generally obtained with a lower power factor than that used for test current "r". A correction may be necessary for values of test current "r" of 1 kA, 3 kA or 5 kA (in some cases cut-off currents of up to 20 % higher are observed at high power factor).

NOTE 3 Maximum peak currents for larger ratings cannot exceed the maximum peak (asymmetrical) of the prospective current at specified power factor. (Therefore the derived curves become constant at the maximum asymmetrical peak.)

NOTE 4 These derived curves can be used in the same way as illustrated in Figure A.4.

Figure A.6 – Illustration of a method of deriving curves of maximum peak current at test current "r" as a function of fuse rated current

Bibliography

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

IEC 60050-442, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 442: Electrical accessories*

IEC 60050-448, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 448: Power system protection*

IEC/TR 61912-2, *Low-voltage switchgear and controlgear – Over-current protective devices – Part 2: Selectivity under over-current conditions*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	62
INTRODUCTION.....	64
1 Domaine d'application	65
2 Références normatives	65
3 Termes et définitions	66
4 Avantages des fusibles.....	68
5 Construction du fusible et fonctionnement	69
5.1 Composants.....	69
5.2 Construction du fusible	69
5.2.1 Élément de remplacement	69
5.2.2 Contacts de l'élément de remplacement	70
5.2.3 Dispositif indicateur et percuteur	71
5.2.4 Socle	71
5.2.5 Poignées de manœuvre et ensembles porteurs	71
5.3 Fonctionnement du fusible	71
5.3.1 Généralités	71
5.3.2 Fonctionnement du fusible en cas de court-circuit.....	71
5.3.3 Fonctionnement en cas de surcharge	72
5.3.4 Caractéristique de préarc temps-courant des éléments de remplacement (fusibles)	73
5.3.5 Fonctionnement des fusibles à des altitudes supérieures à 2 000 m	74
6 Combinés-fusibles	74
7 Choix du fusible et marquage	76
8 Protection des conducteurs	78
8.1 Généralités	78
8.2 Catégories d'emploi gG.....	79
8.3 Catégories d'emploi gN et gD.....	80
8.4 Catégorie d'emploi gR et gS	81
8.5 Catégorie d'emploi gU.....	81
8.6 Catégorie d'emploi gK.....	81
8.7 Catégorie d'emploi gPV.....	81
8.8 Protection contre les courants de court-circuit seulement.....	81
9 Sélectivité des dispositifs de protection	82
9.1 Généralités	82
9.2 Sélectivité entre fusibles	83
9.2.1 Généralités	83
9.2.2 Vérification de la sélectivité pour un temps de fonctionnement supérieur ou égal à 0,1 s.....	83
9.2.3 Vérification de la sélectivité pour un temps de fonctionnement inférieur à 0,1 s	84
9.2.4 Vérification de la sélectivité totale.....	84
9.3 Sélectivité de disjoncteurs en amont de fusibles	84
9.3.1 Généralités	84
9.3.2 Vérification de la sélectivité pour un temps de fonctionnement supérieur ou égal à 0,1 s.....	84
9.3.3 Vérification de la sélectivité pour un temps de fonctionnement inférieur à 0,1 s	85

9.3.4	Vérification de la sélectivité totale.....	85
9.4	Sélectivité de fusibles en amont de disjoncteurs	85
9.4.1	Généralités	85
9.4.2	Vérification de la sélectivité pour un temps de fonctionnement supérieur ou égal à 0,1 s	86
9.4.3	Vérification de la sélectivité pour un temps de fonctionnement inférieur à 0,1 s	86
9.4.4	Vérification de la sélectivité totale.....	86
10	Protection contre les dommages dus au court-circuit	87
10.1	Généralités	87
10.2	Trajectoire du courant de court-circuit.....	87
10.3	Limitation du courant	88
10.4	Courant conditionnel de court-circuit assigné, pouvoir de coupure assigné	88
11	Protection des condensateurs de correction du facteur de puissance	88
12	Protection de transformateur	90
12.1	Transformateurs de distribution à haute tension au primaire	90
12.2	Transformateurs de distribution à primaire basse tension.....	90
12.3	Transformateurs de circuits de commande	90
13	Protection de circuit moteur	91
13.1	Généralités	91
13.2	Coordination entre fusible et démarreur de moteur.....	91
13.3	Critères pour la coordination au courant assigné de court-circuit conditionnel I_q	92
13.4	Critères pour la coordination au courant d'intersection I_{CO}	92
13.5	Critères de coordination au courant d'essai "r"	93
14	Protection des disjoncteurs installés dans les circuits de tensions assignées c.a. et c.c.	93
15	Protection des dispositifs à semiconducteurs dans les circuits de tensions assignées c.a. et c.c.	94
16	Fusibles sous enveloppes.....	96
16.1	Généralités	96
16.2	Température limite des éléments de remplacement gG selon l'IEC 60269-2 – Système A	96
16.3	Autres éléments de remplacement	96
17	Applications en courant continu	96
17.1	Généralités	96
17.2	Protection contre les courts-circuits	97
17.3	Protection contre les surcharges	97
17.4	Caractéristiques temps-courant.....	98
18	Coupure automatique pour la protection contre les chocs électriques dans les installations des bâtiments.....	99
18.1	Généralités	99
18.2	Principe de la protection	99
18.3	Exemples	100
19	Modules photovoltaïques (PV) et protection des générateurs.....	101
19.1	Généralités	101
19.2	Choix des éléments de remplacement PV	102
19.2.1	Catégorie d'emploi des fusibles utilisés	102
19.2.2	Eléments de remplacement de chaîne PV	102

19.2.3	Remplacement des fusibles	102
19.2.4	Systèmes PV non raccordés à la masse ou à la terre	102
19.2.5	Fusibles de mise à la terre fonctionnelle	102
19.2.6	Fusibles de remplacement de groupe PV et de sous-groupe PV	103
19.2.7	Surveillance des fusibles (chaîne ou groupe)	103
19.2.8	Pouvoir de coupure assigné.....	103
19.2.9	Tension assignée des fusibles gPV.....	103
19.2.10	Courant assigné des fusibles gPV	103
20	Protection des éoliennes	103
Annexe A (informative) Coordination entre fusibles et contacteurs/démarreurs		105
A.1	Généralités	105
A.2	Exemples d'éléments de remplacement appropriés utilisés pour la protection des moteurs	105
A.3	Valeurs de I^2t et du courant coupé limité observées lors d'essais réussis de combinaisons d'éléments de remplacement/démarreurs dans le monde	106
A.4	Critères pour la coordination au courant assigné de court-circuit conditionnel I_q	109
A.4.1	Généralités	109
A.4.2	Valeur maximale du I^2t de fonctionnement et du courant coupé	109
A.4.3	Guide pour choisir le courant assigné maximal d'un fusible utilisé en variante	110
A.4.4	Indications complémentaires.....	111
A.5	Critères pour la coordination au courant d'essai «r».....	111
A.6	Types de coordination.....	112
Bibliographie.....		116
Figure 1 – Élément de remplacement typique selon l'IEC 60269-2		70
Figure 2 – Élément de remplacement typique selon l'IEC 60269-2		70
Figure 3 – Fonctionnement du fusible limiteur de courant		72
Figure 4 – Fonctionnement du fusible en surcharge		73
Figure 5 – Caractéristique temps-courant des éléments de remplacement		73
Figure 6 – Courants pour le choix des éléments de remplacement		80
Figure 7 – Sélectivité – Schéma général du réseau.....		82
Figure 8 – Vérification de la sélectivité entre les fusibles F_2 et F_4 pour un temps de fonctionnement $t \geq 0,1$ s.....		83
Figure 9 – Vérification de la sélectivité entre le disjoncteur C_2 et les fusibles F_5 ou F_6		85
Figure 10 – Vérification de la sélectivité entre le fusible F_2 et le disjoncteur C_3 pour un temps de fonctionnement $t \geq 0,1$ s.....		86
Figure 11 – Vérification de la sélectivité entre le fusible F_2 et le disjoncteur C_3 pour un temps de fonctionnement $t < 0,1$ s.....		87
Figure 12 – Coordination entre le fusible et le démarreur		93
Figure 13 – Circuit en courant continu.....		97
Figure 14 – Coupure en courant continu		98
Figure 15 – Temps de fonctionnement du fusible pour différentes constantes de temps en courant continu		99
Figure 16 – Caractéristique temps-courant.....		100
Figure A.1 – Courants coupés limités mesurés lors d'essais de coordination I_q pleinement satisfaisants.....		107

Figure A.2 – Fusibles utilisés pour une coordination pleinement satisfaisante: valeurs de I^2t totaux et I^2t de préarc en fonction du courant assigné du contacteur en AC3.....	108
Figure A.3 – Fusibles utilisés pour une coordination pleinement satisfaisante: valeurs de I^2t totaux et de I^2t de préarc en fonction du courant assigné I_n du fusible.....	109
Figure A.4 – Exemple d'une méthode de sélection du courant assigné maximal d'un fusible de protection d'un contacteur de courant assigné $I_e = X$ ampères.....	113
Figure A.5 – Aptitudes à la tenue au courant d'essai «r» d'une gamme de contacteurs et des relais de surcharge associés	114
Figure A.6 – Exemple d'une méthode de courbes dérivées du courant crête maximal au courant d'essai «r» fonction du courant assigné du fusible	115
Tableau 1 – Facteurs de déclassement selon différentes altitudes	74
Tableau 2 – Définitions et symboles des combinés-fusible	75
Tableau 3 – Application des fusibles	77
Tableau 4 – Tension maximale du courant alternatif pour les éléments de remplacement	78
Tableau 5 – Tension type de fonctionnement du courant continu pour les éléments de remplacement	78
Tableau 6 – Choix du fusible pour les condensateurs de correction de facteur de puissance (fusibles selon l'IEC 60269-2, système A)	89
Tableau 7 – Courant conventionnel de non-fusion.....	95
Tableau 8 – Constantes de temps de circuits typiques en courant continu	98
Tableau A.1 – Exemples de caractéristiques assignées d'éléments de remplacement typiques utilisés pour la protection des démarreurs montrant comment le choix du calibre optimal est lié au type d'élément de remplacement.....	106
Tableau A.2 (Tableau 12 de l'IEC 60947-4-1:2009) – Valeur du courant d'essai présumé en fonction du courant assigné d'emploi	111
Tableau A.3 – Types de coordination	112

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FUSIBLES BASSE TENSION –

Partie 5: Lignes directrices pour l'application des fusibles basse tension

AVANT-PROPOS

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

La tâche principale des comités d'études de l'IEC est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

L'IEC/TR 60269-5, qui est un rapport technique, a été établi par le sous-comité 32B: Coupe-circuit à fusibles à basse tension, du comité d'études 32 de l'IEC: Coupe-circuit à fusibles.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2010. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition comporte les modifications techniques suivantes en rapport avec l'édition précédente:

- a) les recommandations et préconisations pour le fonctionnement des fusibles à des altitudes supérieures;
- b) l'ajout d'informations concernant les différentes tensions de fonctionnement des fusibles;
- c) l'ajout de recommandations pour la protection des systèmes photovoltaïques;
- d) l'amélioration de nombreux détails.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
32B/621A/DTR	32B/624/RVC

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

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

Une liste de toutes les parties de l'IEC 60269, sous le titre général: *Fusibles basse tension*, est disponible sur le site web de l'IEC.

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

INTRODUCTION

Les fusibles protègent un grand nombre de types de matériel et d'appareillage de connexion contre les effets de surintensités qui peuvent être dramatiques:

- vaporisation du métal;
- dommage thermique des conducteurs et des barres;
- ionisation des gaz;
- arc, feu et explosion;
- dégradation de l'isolation.

En plus du danger pour le personnel, des pertes économiques significatives peuvent résulter des arrêts d'exploitation ainsi que des réparations obligatoires pour restaurer le matériel endommagé.

Les fusibles modernes sont des moyens de protection contre les surintensités couramment utilisés aujourd'hui, et comme tel ils assurent une excellente solution économique pour éliminer ou minimiser les effets des surintensités.

FUSIBLES BASSE TENSION –

Partie 5: Lignes directrices pour l'application des fusibles basse tension

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique, qui est un guide d'application des fusibles basse tension, montre que les fusibles limiteurs de courant sont faciles à utiliser pour protéger le matériel électronique complexe et sensible d'aujourd'hui. Ces lignes directrices couvrent spécifiquement les fusibles basse tension de tensions jusqu'à 1 000 V en courant alternatif et 1 500 V en courant continu selon la série IEC 60269. Elles fournissent des informations sur les fusibles ainsi que sur leurs applications.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

IEC/TR 60146-6, *Convertisseurs à semiconducteurs – Partie 6: Guide d'application pour la protection par fusibles des convertisseurs contre les surintensités*

IEC 60269 (toutes les parties), *Fusibles basse tension*

IEC 60269-1:2006, *Fusibles basse tension – Partie 1: Exigences générales*

IEC 60269-2, *Fusibles basse tension – Partie 2: Exigences supplémentaires pour les fusibles destinés à être utilisés par des personnes habilitées (fusibles pour usages essentiellement industriels) – Exemples de systèmes de fusibles normalisés A à K*

IEC 60269-3, *Fusibles basse tension – Partie 3: Exigences supplémentaires pour les fusibles destinés à être utilisés par des personnes non qualifiées (fusibles pour usages essentiellement domestiques et analogues) – Exemples de systèmes de fusibles normalisés A à F*

IEC 60269-4:2009, *Fusibles basse tension – Partie 4: Exigences supplémentaires concernant les éléments de remplacement utilisés pour la protection des dispositifs à semiconducteurs*

IEC 60269-6, *Fusibles basse tension – Partie 6: Exigences supplémentaires concernant les éléments de remplacement utilisés pour la protection des systèmes d'énergie solaire photovoltaïque*

IEC 60364-4-41:2005, *Installations électriques à basse tension – Partie 4-41: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les chocs électriques*

IEC 60364-4-43:2008, *Installations électriques à basse tension – Partie 4-43: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les surintensités*

IEC 60364-5-52, *Installations électriques à basse-tension – Partie 5-52: Choix et mise en oeuvre des matériels électriques – Canalisations*

IEC 60947 (toutes les parties), *Appareillage à basse tension*

IEC 60947-3:2008, *Appareillage à basse tension – Partie 3: Interrupteurs, sectionneurs, interrupteurs-sectionneurs et combinés-fusibles*

IEC 60947-4-1:2009, *Appareillage à basse tension – Partie 4-1: Contacteurs et démarreurs de moteurs – Contacteurs et démarreurs électromécaniques*

IEC/TR 61912-1:2007, *Appareillage à basse tension – Dispositifs de protection contre les surintensités – Partie 1: Application des caractéristiques de court-circuit*

3 Termes et définitions

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

3.1

interrupteur (mécanique)

appareil mécanique de connexion capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, y compris éventuellement les conditions spécifiées de surcharge en service, ainsi que de supporter pendant une durée spécifiée des courants dans des conditions anormales spécifiées du circuit telles que celles du court-circuit

Note 1 à l'article: Un interrupteur peut être capable d'établir des courants de court-circuit, mais n'est pas capable de les couper.

[SOURCE: IEC 60050-441:1984, 441-14-10]

3.2

sectionneur

appareil mécanique de connexion qui satisfait, en position d'ouverture, aux exigences spécifiées pour la fonction de sectionnement

Note 1 à l'article: Certains sectionneurs ne sont pas capables de couper en charge.

[SOURCE: IEC 60050-441: 1984, 441-14-05, modifiée (définition modifiée et Note 1 à l'article ajoutée)]

3.3

combiné-fusible

combinaison en un seul appareil, assemblé par le constructeur ou selon ses instructions, d'un appareil mécanique de connexion et d'un ou de plusieurs fusibles

[SOURCE: IEC 60050-441: 1984, 441-14-04, modifiée (Note enlevée)]

3.4

interrupteur à fusibles

interrupteur dans lequel un ou plusieurs pôles comportent un fusible en série dans un appareil combiné

[SOURCE: IEC 60050-441: 1984, 441-14-14]

3.4.1

Simple et double coupure

l'interrupteur à fusibles peut être à simple coupure (il ouvre le circuit sur un côté de la liaison fusible uniquement) ou à double coupure (il ouvre le circuit des deux côtés de la liaison fusible)

3.5

fusible-interrupteur

interrupteur dans lequel un élément de remplacement ou un porte-fusible avec son élément de remplacement forme le contact mobile

[SOURCE: IEC 60050-441: 1984, 441-14-17]

3.5.1

Simple et double coupure

le fusible-interrupteur peut être à simple coupure (il ouvre le circuit sur un côté de la liaison fusible uniquement) ou à double coupure (il ouvre le circuit des deux côtés de la liaison fusible)

3.6

appareil de connexion

appareil destiné à établir ou interrompre le courant dans un ou plusieurs circuits électriques

Note 1 à l'article: Un appareil de connexion peut exécuter une ou deux de ces opérations.

[SOURCE: IEC 60050-441: 1984, 441-14-01, modifiée (Note 1 à l'article ajoutée)]

3.7

dispositif de protection contre les courts-circuits DPCC

dispositif destiné à protéger un circuit ou des parties d'un circuit contre les courants de court-circuit par l'interruption de ceux-ci

3.8

protection de surcharge

protection destinée à fonctionner lors d'une surcharge dans la section protégée

[SOURCE: IEC 60050-448: 1995, 448-14-31]

3.9

surcharge

conditions de fonctionnement d'un circuit électriquement sain, qui provoquent une surintensité

[SOURCE: IEC 60050-441: 1984, 441-11-08]

3.10

surintensité

courant supérieur au courant assigné

[SOURCE: IEC 60050-442: 1998, 442-01-20]

3.11

courant assigné de court-circuit conditionnel (pour un appareil de coupure)

I_q
valeur de courant présumé, que ce matériel, protégé par un dispositif de protection contre les courts-circuits, peut supporter de façon satisfaisante pendant la durée de fonctionnement de ce dispositif dans les conditions d'essais spécifiées dans la norme de matériel correspondante

3.12**sélectivité d'une protection**

aptitude d'une protection à identifier la section et/ou la ou les phases qui sont en défaut dans un réseau

Note 1 à l'article: Bien que les termes "sélectivité" et "discrimination" aient une signification similaire d'après les définitions VEI, ce rapport préfère et utilise le terme sélectivité pour exprimer la capacité d'un dispositif de surintensité de fonctionner de préférence à un autre dispositif de surintensité situé en série, sur une gamme de surintensités donnée. L'effet sur la sélectivité d'une charge de courant maintenue dans la zone de surcharge est également pris en considération.

[SOURCE: IEC 60050-448: 1995, 448-11-06, modifiée (Note 1 à l'article ajoutée)]

4 Avantages des fusibles

Les fusibles limiteurs de courant offrent une protection complète contre les effets des surintensités, en protégeant à la fois les circuits électriques et leurs composants. Les fusibles offrent une combinaison de caractéristiques exceptionnelles, par exemple:

- a) Haut pouvoir de coupure (haut courant assigné de coupure).
- b) Pas besoin de calcul complexe des courts-circuits.
- c) Extension aisée des installations entraînant une augmentation des courants de défaut sans incidence sur le coût.
- d) Haut pouvoir de limitation (faible valeur de I^2t).
- e) Correction du défaut obligatoire avant la remise en fonctionnement. Les fusibles ne peuvent être réenclenchés, obligeant ainsi les utilisateurs à identifier et corriger les causes des surintensités avant de réalimenter le circuit.
- f) Fiabilité.
Pas de pièces amovibles d'usure ou pouvant être détériorées par la poussière, l'huile ou la corrosion. Le remplacement du fusible assure que la protection est restaurée à son stade initial d'intégrité.
- g) Protection au meilleur coût.
Leur taille compacte offre une protection économique contre les courants de court-circuit élevés.
- h) Pas de dommage pour les démarreurs et les contacteurs (protection de type 2 sans dommage selon l'IEC 60947-4-1).
En limitant l'énergie et les courants de crête des courts-circuits à de très bas niveaux, les fusibles sont particulièrement appropriés pour la protection de type 2 sans endommager les composants du circuit du moteur.
- i) Fonctionnement sûr et silencieux.
Pas d'émission de gaz, de flammes, d'arc ou d'autres matériaux lors de la coupure des plus hauts niveaux de courants de court-circuit. De plus, la vitesse de fonctionnement pour des courants de court-circuit élevés limite de façon significative le risque d'arc à l'endroit du défaut.
- j) Coordination aisée.
Les caractéristiques normalisées des fusibles et leur pouvoir de limitation élevé assurent une coordination efficace avec les autres dispositifs.
- k) Performances normalisées.
Les éléments de remplacement selon la série IEC 60269 assurent la disponibilité à travers le monde pour l'interchangeabilité avec des caractéristiques normalisées.
- l) Amélioration de la qualité de l'alimentation.
Les fusibles limiteurs coupent des courants de défaut élevés en quelques millisecondes, réduisant ainsi les creux de tension dans le système d'alimentation à une valeur négligeable.

m) Inviolabilité.

Une fois installés, les fusibles ne peuvent être modifiés ou ajustés pour changer leur niveau de performance, évitant ainsi un mauvais fonctionnement.

n) Pas de maintenance.

Des fusibles convenablement dimensionnés n'exigent aucune maintenance, ajustement ou recalibration. Ils peuvent rester en service, fournissant les niveaux de protection initialement prévus, durant de nombreuses décades.

o) Niveau élevé de rendement énergétique.

La résistance et par conséquent la puissance dissipée par le fusible est très faible par rapport aux autres appareils de protection. La perte de puissance dans le fusible est largement inférieure à 0,1 % de la puissance transmise par le courant assigné.

p) Excellente protection du personnel et du matériel contre les risques d'arc électriques.

L'utilisation de fusibles limiteurs de courant convenablement dimensionnés, lorsqu'ils fonctionnent dans leur plage de limitation de courant interrompent les courants dus aux défauts d'arc en quelques millisecondes, ce qui permet de maintenir l'énergie de l'arc largement en-dessous des niveaux dangereux et nuisibles.

5 Construction du fusible et fonctionnement

5.1 Composants

Un fusible est un dispositif de protection, qui se compose

- de l'élément de remplacement,
- du socle,
- du porte-fusible ou de la poignée de manipulation.

Ces composants peuvent être intégrés dans un combiné-fusible.

5.2 Construction du fusible

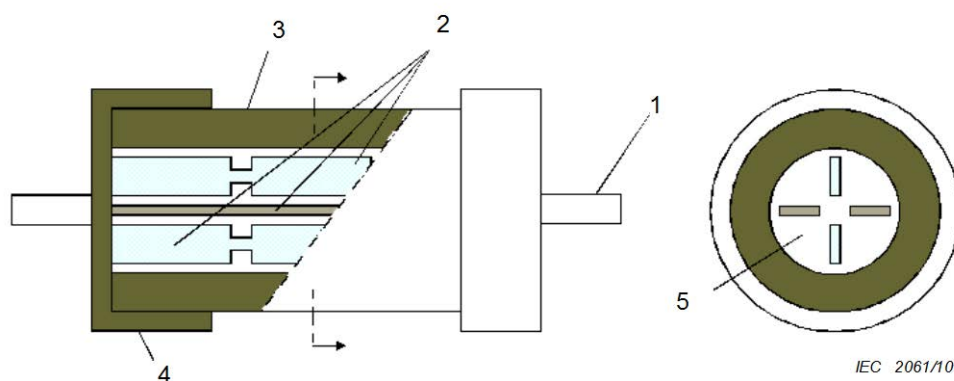
5.2.1 Élément de remplacement

Les Figures 1 et 2 montrent la conception d'un élément de remplacement typique basse tension à usage industriel. De tels éléments de remplacement sont communément appelés limiteurs de courant ou à haut pouvoir de coupure. Les éléments de remplacement selon l'IEC 60269-2 (fusibles à usage industriel) sont disponibles jusqu'à des courants assignés de 6 000 A.

Les éléments de remplacement suivant l'IEC 60269-3 (fusibles pour application domestique) sont disponibles jusqu'à 100 A de courant assigné.

L'élément fusible est habituellement constitué d'éléments en argent plat ou en cuivre avec des découpes multiples dans leur section. Cette forme de découpe est une des caractéristiques importantes de la conception du fusible, réalisée généralement au moyen d'un poinçonnage de précision.

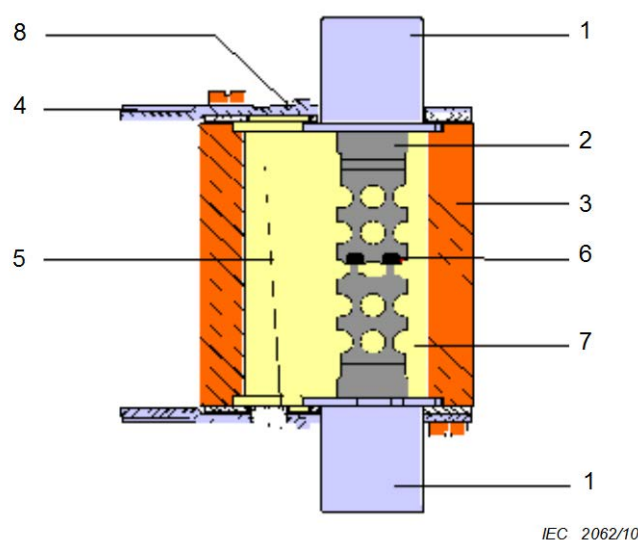
Le matériau de thermo-protection (voir 5.3.3) est ajouté à l'élément fusible afin d'assurer le fonctionnement du fusible en cas de faible surcharge. La pureté du matériau de l'élément fusible et ses dimensions physiques précises sont d'une importance vitale pour la fiabilité du fonctionnement du fusible.



Légende

- 1 Contact à couteau
- 2 Eléments fusibles
- 3 Corps du fusible
- 4 Capsule
- 5 Matériau de remplissage

Figure 1 – Élément de remplacement typique selon l'IEC 60269-2



Légende

- 1 Contact à couteau
- 2 Élément fusible
- 3 Corps du fusible
- 4 Plaque d'extrémité (avec patte d'accrochage)
- 5 Fil indicateur
- 6 Matériau de thermo-protection
- 7 Matériau de remplissage
- 8 Indicateur

Figure 2 – Élément de remplacement typique selon l'IEC 60269-2

5.2.2 Contacts de l'élément de remplacement

Les contacts de l'élément de remplacement permettent une connexion électrique entre l'élément de remplacement et les socles ou les porte-fusibles. Les contacts sont en cuivre ou

en alliage de cuivre et sont normalement protégés de la formation de couches non conductrices par un revêtement.

5.2.3 Dispositif indicateur et percuteur

Certains fusibles sont équipés d'indicateurs ou de percuteurs pour un repérage rapide du fonctionnement de l'élément de remplacement. Des fusibles équipés de percuteurs peuvent également fournir une action mécanique (par exemple pour un interrupteur ou une signalisation à distance) ainsi qu'une indication visuelle.

5.2.4 Socle

Le socle contient les contacts recevant l'élément de remplacement, les moyens de connexion pour les câbles ou les jeux de barre et le socle isolant.

5.2.5 Poignées de manœuvre et ensembles porteurs

Les poignées de manœuvre ou les porte-fusibles, le cas échéant, permettent de changer l'élément de remplacement dans un système sous tension selon des règles de sécurité spécifiées. Ils sont faits en matériau isolant et soumis aux essais exigés pour les outils de sécurité. Dans certains systèmes, les porte-fusibles sont une partie intégrée au socle, éliminant la nécessité d'utiliser une poignée de manœuvre.

5.3 Fonctionnement du fusible

5.3.1 Généralités

Les fusibles sont prévus pour fonctionner en cas de court-circuit et de surcharge. D'habitude les courts-circuits sont des courants au-delà de 10 fois le courant assigné du fusible, et les surcharges des courants inférieurs à 10 fois le courant assigné du fusible.

5.3.2 Fonctionnement du fusible en cas de court-circuit

Durant un court-circuit, les sections réduites (découpes) fondent simultanément formant une série d'arcs d'un nombre égal au nombre de sections réduites dans l'élément fusible. La tension d'arc qui en résulte assure une rapide réduction du courant et l'annule. Cette action s'appelle «limitation du courant».

Le fonctionnement du fusible se fait en deux étapes (voir Figures 3a et 3b):

- l'étape de préarc (fusion) (t_m): l'échauffement des sections réduites (découpes) jusqu'au point de fusion puis de vaporisation du matériau;
- l'étape d'arc (t_a): les arcs commencent à chaque découpe et sont éteints par le matériau de remplissage.

Le temps de fonctionnement est la somme du temps de préarc et du temps d'arc.

Les énergies générées par le courant pendant le temps de préarc et le temps de fonctionnement dans le circuit à protéger sont représentées respectivement par $I'^2 t$ de préarc et $I'^2 t$ de fonctionnement. Les courbes de la Figure 3 montrent la propriété de limitation de courant par l'élément de remplacement dans des conditions de court-circuit.

On peut noter que le courant limité par l'élément de remplacement i_c est bien inférieur à la valeur crête du courant présumé I_p .

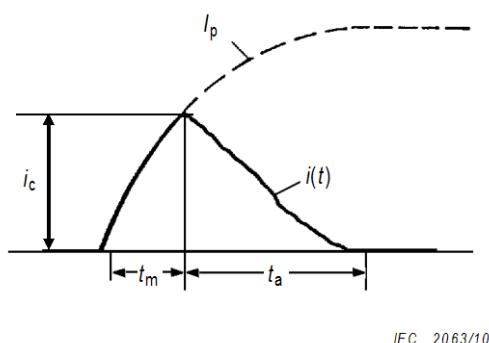


Figure 3a – Courant continu

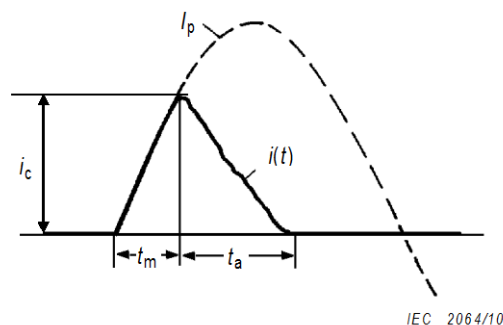


Figure 3b – Courant alternatif

Légende

t_m temps de préarc

t_a temps d'arc

I_p courant présumé

i_c courant limité par le fusible

Figure 3 – Fonctionnement du fusible limiteur de courant

5.3.3 Fonctionnement en cas de surcharge

Durant une surcharge, le matériau de thermoprotection fond et un arc se forme entre les deux parties de l'élément fusible. La matière de remplissage (habituellement du sable de quartz propre) qui entoure l'élément fusible éteint rapidement l'arc et annule le courant. En refroidissant, le sable fondu se vitrifie, isolant ainsi les deux moitiés de l'élément fusible l'une de l'autre en évitant un réamorçage de l'arc qui rétablirait le courant. Le fonctionnement du fusible s'effectue également en deux étapes (voir Figures 4a et 4b):

- L'étape de préarc (fusion) (t_m): l'échauffement de l'élément fusible jusqu'au point de fusion de la section comportant la thermoprotection. Cette période dure typiquement plus que quelques millisecondes et varie en sens inverse de l'amplitude de la surcharge. De faibles amplitudes de surcharges conduisent à un long temps de fusion de quelques secondes à plusieurs heures.
- L'étape d'arc: l'arc qui s'établit à la section de la thermoprotection est alors éteint par le matériau de remplissage. Ce temps dépend de la tension de fonctionnement.
- Ces deux étapes constituent le temps de fonctionnement du fusible ($t_m + t_a$). L'énergie générée par la surcharge dans le circuit à protéger durant le temps de préarc (fusion) et le temps d'arc peut toujours être représenté par le I^2t de préarc et le I^2t de fonctionnement respectivement, toutefois, sous des conditions de surcharge, la valeur du I^2t de préarc est si élevée qu'il ne constitue pas une donnée utile pour l'application et le temps de préarc est une mesure préférée pour les durées supérieures à quelques cycles ou quelques fois la constante de temps. Dans ce cas, la durée d'arc est négligeable devant la durée de préarc.

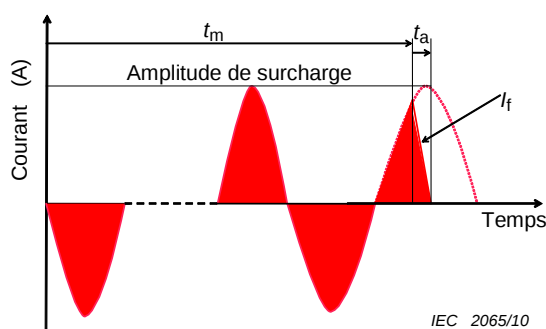


Figure 4a – Courant alternatif

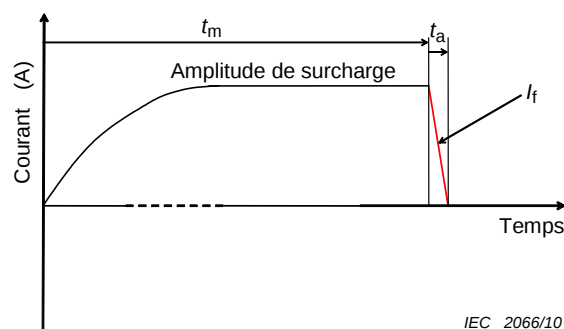
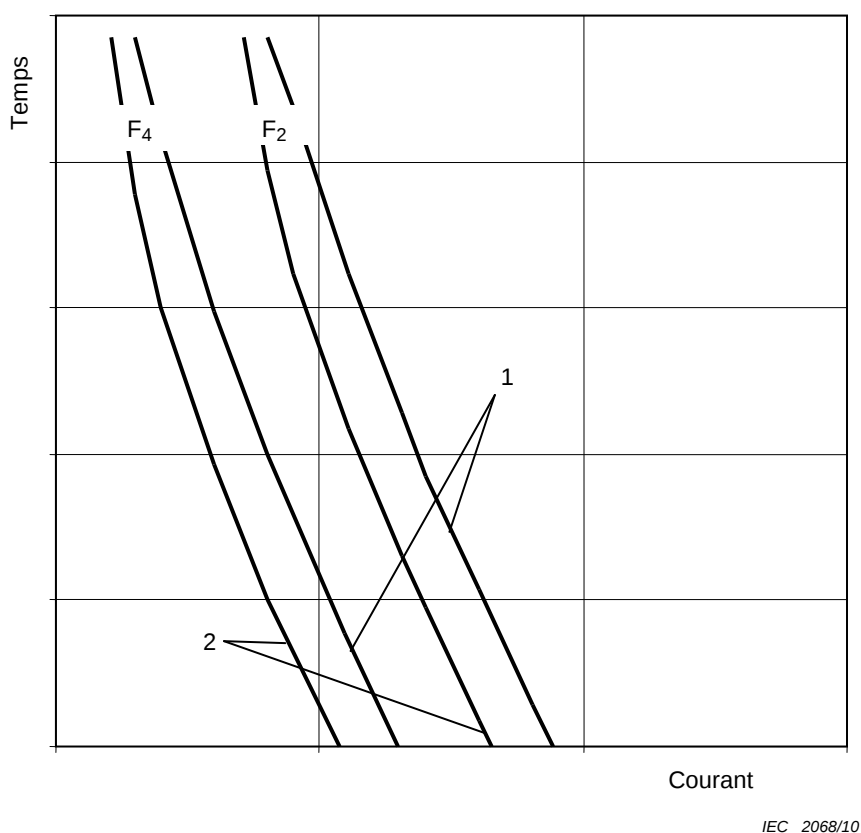


Figure 4b – Courant continu

Figure 4 – Fonctionnement du fusible en surcharge

5.3.4 Caractéristique de préarc temps-courant des éléments de remplacement (fusibles)

La durée de fusion d'un élément de remplacement est également dénommée durée de «préarc». Les éléments de remplacement possèdent une caractéristique temps-courant inversée (plus la valeur de courant est grande, plus le temps de préarc est faible) tel que représenté sur la Figure 5. Ceci permet de très faibles durées de préarc aux grandes valeurs de courant, et ceci sans limite. C'est ce phénomène apparemment simple qui fait le succès universel des fusibles apprécié depuis longtemps.



Légende

- 1 Temps maximal de fonctionnement
- 2 Temps minimal de préarc

Figure 5 – Caractéristique temps-courant des éléments de remplacement

5.3.5 Fonctionnement des fusibles à des altitudes supérieures à 2 000 m

Les fusibles à basse tension peuvent supporter le courant assigné à des altitudes jusqu'à 2 000 m, sans exiger l'application d'un facteur de déclassement. Cela est détaillé en 3.2 de l'IEC 60269-1:2006.

Le courant admissible d'un fusible et du câble est influencé par les effets de refroidissement de l'air ambiant, le courant maximal admissible est déclassé à de hautes altitudes. Cela peut être décrit par l'approximation suivante:

A des altitudes supérieures à 2 000 m, un facteur de déclassement de 0,5 % tous les 100 m au-delà de 2 000 m sera exigé, en raison de la quantité de chaleur moindre évacuée par convection à partir de l'élément de remplacement à une densité de l'air inférieure.

Cela peut être décrit par la formule suivante:

$$\frac{I}{I_n} = 1 - \frac{h - 2000}{100} \cdot \frac{0,5}{100}$$

I courant maximal admissible à une altitude h

I_n courant assigné jusqu'à 2 000 m

h altitude en mètres

Tableau 1 – Facteurs de déclassement selon différentes altitudes

Altitude h m	Facteur de déclassement I/I_n
2 000	1,000
2 500	0,975
3 000	0,950
3 500	0,925
4 000	0,900
4 500	0,875
5 000	0,850

6 Combinés-fusibles

Les combinés-fusibles intègrent la fonction de protection de circuit assurée par l'élément de remplacement et la fonction de connexion du circuit assurée par l'interrupteur en un seul appareil. Les combinés-fusibles sont normalisés dans l'IEC 60947-3:2008, Tableau 2.

Il existe deux types différents de combinés-fusibles:

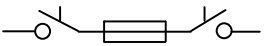
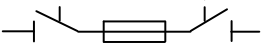
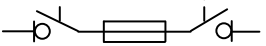
- les interrupteurs à fusibles et les interrupteurs-sectionneurs à fusibles ont des interrupteurs connectés en série à l'élément de remplacement et sont des appareils à manœuvre manuelle généralement indépendante de l'opérateur (fonctionnement rapide);
- les fusibles-sectionneurs et les fusibles-interrupteurs-sectionneurs utilisent l'élément de remplacement lui-même formant le contact mobile et sont à manœuvre manuelle généralement dépendante de l'opérateur.

Les définitions peuvent être trouvées respectivement dans l'IEC 60947-3 ou dans l'IEC 60050-441. Les principales définitions sont rappelées ici pour une lecture plus facile; le texte complet se trouve à l'Article 3:

- interrupteur (mécanique) (voir 3.1);
- sectionneur (voir 3.2);
- combiné-fusibles (voir 3.3);
- interrupteur à fusibles (voir 3.4);
- fusible-interrupteur (voir 3.5).

A partir de ces définitions de base, il y a de nombreuses variantes d'appareils illustrés dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Définitions et symboles des combinés-fusible

Fonctions		
Etablissement et coupure du courant	Sectionnement	Etablissement, coupure et sectionnement
Interrupteur 	Sectionneur 	Interrupteur-sectionneur 
Combinés fusibles		
Interrupteur à fusibles à coupure unique 	Sectionneur à fusibles à coupure unique ^b 	Interrupteur-sectionneur à fusibles à coupure unique ^b 
Interrupteur à fusibles à coupure double 	Sectionneur à fusibles à coupure double ^b 	Interrupteur-sectionneur à fusibles à coupure double ^b 
Fusible-interrupteur à coupure unique 	Fusible-sectionneur à coupure unique ^b 	Fusible-interrupteur-sectionneur à coupure unique ^b 
Fusible-interrupteur à coupure double 	Fusible-sectionneur à coupure double ^b 	Fusible-interrupteur-sectionneur à coupure double ^b 
Un équipement présenté comme étant à coupure simple peut être à coupure double. NOTE Les symboles sont basés sur ceux de l'IEC 60617-7.		
^a Le fusible peut être sur l'un ou l'autre des côtés des contacts du matériel ou en position fixe par rapport à ceux-ci. ^b Seule la coupure entre bornes d'entrée et de sortie est vérifiée par un essai.		

La note de la définition de l'interrupteur, c'est-à-dire qu'un interrupteur peut être capable d'établir des courants de court-circuit, mais n'est pas capable de les couper, montre très clairement qu'un interrupteur n'a pas de pouvoir de coupure en court-circuit. Dans un combiné-fusible, le fusible assure cette fonction.

La plupart des combinés-fusibles avec des fusibles intégrés étant conçus comme des fusibles-interrupteurs-sectionneurs ou des interrupteurs à fusibles sectionneurs, ils peuvent être utilisés pour

- la connexion d'une charge,
- le sectionnement,
- la protection contre les courts-circuits.

Le ou les fusibles associés au combiné fusible et interrupteur protègent également l'interrupteur contre les effets des surintensités.

7 Choix du fusible et marquage

Il est nécessaire pour choisir le fusible de considérer le matériel à protéger et la source d'alimentation qui doit être interrompue. En fonction de la source d'alimentation, les paramètres suivants doivent être définis:

- la tension du réseau (tension d'emploi);
- la fréquence (pour les applications en courant continu, voir l'Article 17);
- le courant présumé de court-circuit;
- le courant à pleine charge (courant d'emploi).

Les fusibles limiteurs de courant sont conçus avec un pouvoir de coupure assigné très élevé. Il est généralement beaucoup plus élevé que la valeur minimale spécifiée dans l'IEC 60269-2 et dans l'IEC 60269-3. Des éléments de remplacement sont disponibles avec des pouvoirs de coupure assignés qui couvrent les niveaux de courants présumés les plus élevés qui peuvent être rencontrés en service (par exemple jusqu'à 200 kA.)

NOTE Les éléments de remplacement peuvent être utilisés avec sécurité à des valeurs plus faibles que leur pouvoir de coupure assigné.

Le choix d'un fusible pour une application spécifique implique l'étude des caractéristiques temps-courant et la zone de coupure. Les caractéristiques temps-courant déterminent le champ d'application tandis que la zone de coupure indique si le type de fusible doit être utilisé avec un dispositif complémentaire de protection contre les surintensités.

«Toute surintensité» signifie que le fusible peut interrompre n'importe quel courant capable de faire fondre l'élément fusible. Les fusibles toute surcharge peuvent être utilisés seuls comme des dispositifs de protection.

Les fusibles «courants de court-circuit seulement» ou d'accompagnement sont conçus pour couper uniquement les courants de court-circuit.

Ils sont généralement utilisés en association avec d'autres dispositifs de protection contre les surintensités, (par exemple, des organes de commande électroniques ou des disjoncteurs) à des courants de court-circuit supérieurs au pouvoir de coupure du dispositif seul.

La série IEC 60269 et ses différents systèmes de fusibles spécifient les balises des caractéristiques temps-courant et la zone de coupure des fusibles dans le Tableau 3:

Tableau 3 – Application des fusibles

Catégorie d'emploi	Application (caractéristique)	Zone de coupure
gG	Usage général	Toute surintensité
gM	Protection des circuits moteurs	Toute surintensité
aM	Protection contre les courts-circuits des circuits moteurs	Courants de courts-circuits seulement
gN	Nord-américain à usage général pour la protection des conducteurs	Toute surintensité
gD	Nord-américain à usage général retardé pour la protection des conducteurs	Toute surintensité
gPV	Protection des systèmes photovoltaïques (PV)	Toute surintensité
aR	Protection des dispositifs à semiconducteurs	Courants de courts-circuits seulement
gR, gS	Protection des dispositifs à semiconducteurs et des conducteurs	Toute surintensité
gU	Usage général pour la protection des conducteurs	Toute surintensité
gL, gF, gI, gII	Anciens types de fusibles pour la protection des conducteurs (remplacé par le type gG)	Toute surintensité

Les fusibles destinés à être utilisés par des personnes habilitées sont généralement interchangeables. Chaque élément de remplacement, socle ou ensemble porteur est par conséquent marqué de façon lisible et permanente avec les informations suivantes:

- nom du constructeur ou marque de fabrique;
- référence d'identification du constructeur permettant de retrouver ultérieurement toute information;
- tension assignée c.a. ou c.c. (voir Tableau 4 et Tableau 5);
- courant assigné;
- fréquence assignée si < 45 Hz ou > 62 Hz;
- taille ou référence.

De plus, chaque élément de remplacement porte les indications suivantes:

- lettre de codification définissant le pouvoir de coupure et la catégorie d'utilisation (si applicable, voir Tableau 3);
- pouvoir de coupure assigné.

Les socles et les ensembles porteurs portant des marquages de caractéristiques assignées en courant alternatif peuvent être également utilisés en courant continu.

Des indications séparées sont portées sur les éléments de remplacement si ceux-ci sont prévus pour être utilisés en courant alternatif et en courant continu. Les fusibles peuvent fonctionner jusqu'aux tensions maximales données dans le Tableau 4 et le Tableau 5.

Tableau 4 – Tension maximale du courant alternatif pour les éléments de remplacement

Catégorie d'emploi	Tension assignée V c.a.	Tension maximale d'emploi V c.a.
gG, gM, aR ^{a, b} , aM, gR ^{a, b} , gS ^{a, b} , gU, gK	230	253
	400	440
	500	550
	690	725
	1.000	1.100
gN ^a , gD ^a	600	600
^a Pour les éléments de remplacement nord-américains, la tension maximale d'emploi est égale à la tension assignée. ^b D'autres tensions assignées sont disponibles en fonction des applications.		

Tableau 5 – Tension type de fonctionnement du courant continu pour les éléments de remplacement

Catégorie d'emploi	Tension type c.c.	Tension maximale de fonctionnement type c.c.	Constante de temps
gG, gM, gU, gK	up to 500 V	+10 % au delà de la valeur marquée	15 à 20 ms
gN, gD	up to 500 V	+0 % au delà de la valeur marquée ^a	10 à 15 ms
aR, gR, gS	up to 1 500 V ^b	+5 % au delà de la valeur marquée ^a	15 à 20 ms
VSI (Voltage Source Inverter)	up to 1 500 V ^b	+10 % au delà de la valeur marquée ^a	1 à 3 ms
gPV	up to 1 500 V ^b	+0 % au delà de la valeur marquée ^a	1 à 3 ms
^a Pour les éléments de remplacement nord-américains, la tension maximale d'emploi est égale à la tension assignée. ^b D'autres tensions assignées sont disponibles en fonction des applications.			

Il convient de reconnaître la tension assignée de l'élément de remplacement comme étant la tension maximale du circuit à laquelle il est recommandé d'appliquer l'élément de remplacement. La tension d'essai prescrite dans la norme est au-dessus de la tension assignée permettant l'application des écarts admis pour le circuit, mais elle constitue également le facteur de sécurité intégré aux produits conformément à la norme, qui confirme que les éléments de remplacement ont été prouvés et qu'ils sont considérés comme sûrs à une tension spécifique au-delà de laquelle il convient de ne pas les mettre en service.

8 Protection des conducteurs

8.1 Généralités

Les éléments de remplacement sont très utilisés pour la protection des conducteurs en accord avec l'IEC 60364-4-43.

Les éléments de remplacement peuvent être utilisés pour assurer la protection à la fois contre les surcharges de courant et contre les courts-circuits. Des indications simples et utiles pour la sélection des éléments de remplacement sont donnés dans les paragraphes suivants:

- Catégorie d'emploi gG voir 8.2
- Catégorie d'emploi gN et gD (nord américains) voir 8.3
- Catégorie d'emploi gR et gS voir 8.4
- Catégorie d'emploi gU voir 8.5
- Catégorie d'emploi gK voir 8.6
- Catégorie d'emploi gPV voir 8.7

On doit insister sur le fait que l'IEC 60364-4-43 demande que chaque circuit soit conçu de telle manière que des faibles surcharges de longue durée soient très improbables. Pour les faibles surcharges entre 1 et 1,45 fois le courant assigné du dispositif de protection contre les faibles surcharges, le dispositif peut ne pas fonctionner dans le temps conventionnel. Le vieillissement et la détérioration des connexions augmentent rapidement lorsque les températures de fonctionnement dépassent les valeurs assignées.

Attention: Il n'est jamais admissible d'utiliser un dispositif de protection contre les faibles surcharges comme un dispositif limiteur de charge. Un fonctionnement continu de l'élément de remplacement au-delà de son courant assigné peut conduire à une surchauffe et nuire à son fonctionnement.

Dans certaines applications l'élément de remplacement assure la protection contre les courts-circuits seulement. Dans ces cas, une protection supplémentaire contre les faibles surcharges doit être prévue.

Des conseils pour la protection contre les courts-circuits seulement sont fournis en 8.5 et à l'Article 13.

8.2 Catégories d'emploi gG

Les éléments de remplacement de type gG sont capables d'interrompre toute surintensité dans les conducteurs avant qu'elle ne provoque un échauffement susceptible de détériorer l'isolation.

Le choix d'un élément de remplacement peut être effectué simplement selon les étapes suivantes:

- a) La tension maximale d'emploi (voir Tableau 4) d'un élément de remplacement doit être choisie supérieure ou égale à la tension maximale du réseau.
- b) Le courant d'emploi I_B du circuit est calculé.
- c) Le courant permanent admissible dans les conducteurs I_Z est choisi dans l'IEC 60364-5-52.
- d) Le courant assigné I_n de l'élément de remplacement est choisi égal ou supérieur au courant d'emploi du circuit et égal ou inférieur au courant permanent admissible du conducteur:

$$\begin{aligned} I_B &\leq I_n \leq I_Z \\ I_2 &\leq 1,45 I_Z \end{aligned}$$

où

I_B est le courant d'emploi du circuit;

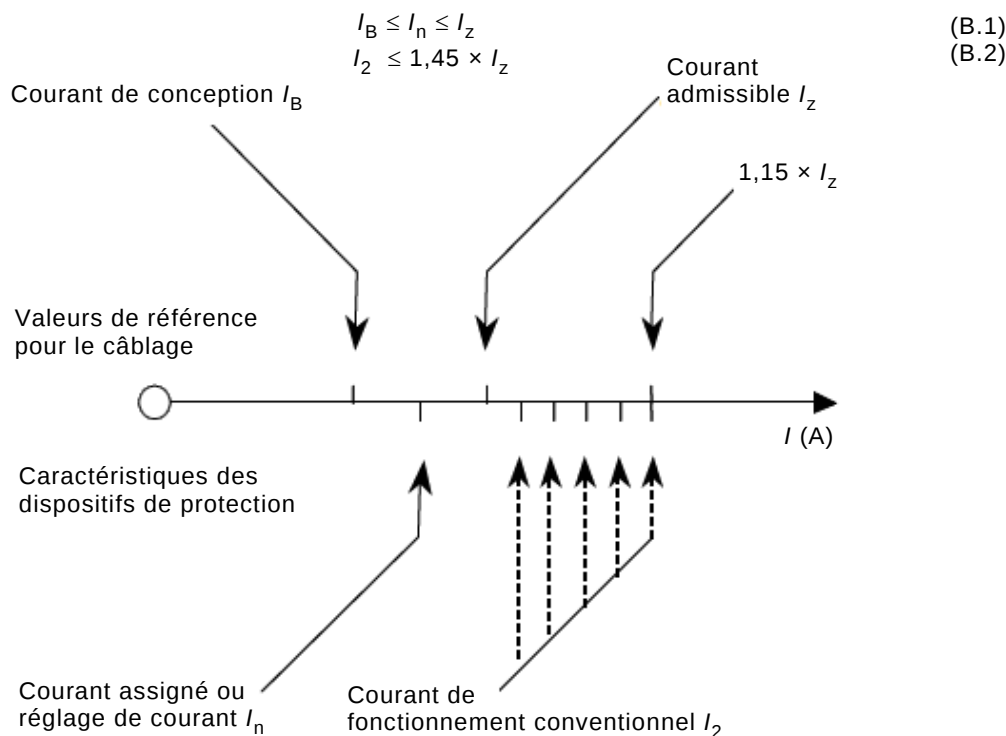
I_Z est le courant permanent admissible du conducteur (voir l'IEC 60364-5-52);

I_n est le courant assigné de l'élément de remplacement.

I_2 est le courant de déclenchement conventionnel [IEC 60050-442:1998, 442-05-55, voir Figure 6]

Pour les fusibles gG, la valeur I_2 (des règles d'installation IEC) est égale à $I_t = 1,45 I_n$

Lorsque l'élément de remplacement est choisi selon la règle ci-dessus, la forme des caractéristiques temps-courant assure une protection adéquate aux fortes surintensités.



IEC 0833/14

Figure 6 – Courants pour le choix des éléments de remplacement

8.3 Catégories d'emploi gN et gD

Les exigences pour le choix des fusibles pour la protection des conducteurs sont données dans les règles d'installation nord-américaines.

- La tension assignée d'un fusible est choisie égale ou supérieure à la tension maximale du réseau.
- Le courant de charge est calculé et multiplié par 1,25 pour les charges permanentes (celles qui ont une durée égale ou supérieure à 2 h.)
- La taille du conducteur est choisie dans le tableau du courant admissible (aptitude à transporter le courant) des règles d'installation.
- En règle générale, on choisit un fusible dont le courant assigné normalisé est compatible avec le courant admissible du conducteur. Pour les conducteurs dont le courant admissible est inférieur à 800 A, si le courant admissible du conducteur est compris entre deux courants assignés normalisés, le plus grand courant assigné est utilisé. Pour les conducteurs dont le courant admissible est égal ou supérieur à 800 A, si le courant admissible est compris entre deux courants assignés normalisés, alors le courant assigné le plus petit est utilisé.

- e) Le fusible est choisi pour protéger le conducteur dans les conditions de court-circuit. Dans la pratique, les normes nord-américaines des câbles ont été élaborées en concertation avec les constructeurs de fusibles afin de s'assurer que la protection contre les courts-circuits est réalisée. Pour les autres types de conducteurs, on compare la tenue assignée au court-circuit du conducteur aux caractéristiques du fusible pour s'assurer qu'aucun dommage ne peut arriver au conducteur.

8.4 Catégorie d'emploi gR et gS

Les éléments de remplacement pour la protection des dispositifs à semiconducteurs sont couverts par l'IEC 60269-4 (voir Article 15). La plupart de ces éléments de remplacement sont pour la protection contre les courts-circuits, catégorie d'emploi aR. Dans certaines applications, la protection contre les surcharges est requise pour les conducteurs qui alimentent le convertisseur et ces applications sont couvertes par la catégorie d'emploi gR, optimisé vers les faibles valeurs de I^2t , et la catégorie d'emploi gS, optimisé vers les faibles valeurs de puissance dissipée.

Le même processus de sélection qu'en 8.2 est utilisé pour la protection des conducteurs.

8.5 Catégorie d'emploi gU

Les éléments de remplacement de la catégorie d'emploi gU sont en priorité destinés à la protection des câbles comme les gG, mais leurs performances sont optimisées pour une utilisation d'alimentation de distribution électrique. Le processus de sélection de la protection des câbles du Paragraphe 8.2 peut être utilisé.

8.6 Catégorie d'emploi gK

Les éléments de remplacement de la catégorie d'emploi gK sont en priorité destinés à la protection des câbles comme les gG, mais leur gamme de courant assigné s'étend jusqu'à 4 800 A. D'autre part, ils sont très limiteurs de courant avec de très faibles caractéristiques de courant coupés limités. Le processus de sélection de la protection des câbles du Paragraphe 8.2 peut être utilisé.

8.7 Catégorie d'emploi gPV

Les éléments de remplacement de la catégorie d'emploi gPV destinés à la protection des systèmes d'énergie solaire photovoltaïque sont couverts par l'IEC 60269-6 (voir section 19). Ces éléments de remplacement sont utilisés pour la protection contre les surcharges de courant et la déconnexion des chaînes (PV strings), des sous groupes (PV sub-arrays) et des groupes photovoltaïques (PV arrays).

8.8 Protection contre les courants de court-circuit seulement

Dans les applications où les éléments de remplacement interviennent en accompagnement ou pour la protection des conducteurs contre les courts-circuits, la coordination doit être assurée en utilisant des éléments de remplacement dans la valeur du I^2t de fonctionnement est inférieur à celle que peuvent supporter les conducteurs. Pour des durées de défaut de 5 s ou moins, le I^2t de tenue des conducteurs peut être déterminé par l'expression:

$$I^2t = k^2 \cdot S^2$$

dans laquelle S est la section du conducteur en millimètres carrés et k est un facteur qui dépend du matériau du conducteur et de la température limite que peut supporter son isolation. Des valeurs de k pour les différentes combinaisons de conducteurs et d'isolations sont données dans l'IEC 60364-4-43:2008, Tableau 43A.

9 Sélectivité des dispositifs de protection

9.1 Généralités

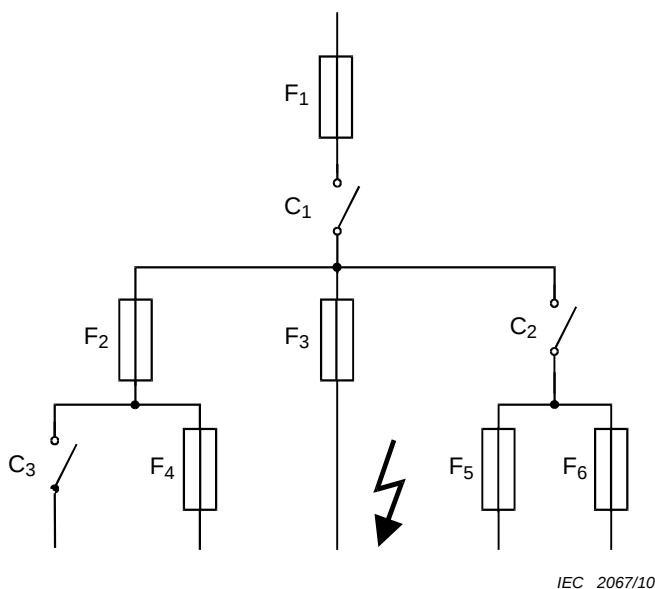
La sélectivité des dispositifs de protection est un point majeur qui doit être étudié lors de la conception d'installations basse tension. Le but de la sélectivité est de minimiser les conséquences d'un défaut. Seul le circuit en défaut doit être sectionné tandis que les autres doivent rester opérationnels. La sélectivité est obtenue si un défaut est éliminé par le dispositif de protection situé immédiatement en amont du défaut sans intervention d'autres dispositifs de protection.

Les explications suivantes sont applicables à l'utilisation la plus universelle, le réseau en étoile.

La sélectivité peut être expliquée en utilisant le schéma de réseau de la Figure 7. Selon ce schéma, plusieurs cas de sélectivité peuvent être considérés:

- entre F_2 et F_4 $\Rightarrow$ voir 9.2
- entre F_1 et F_3 $\Rightarrow$ voir 9.2
- entre C_1 et F_3 $\Rightarrow$ voir 9.3
- entre C_2 et F_5, F_6 $\Rightarrow$ voir 9.3
- entre F_2 et C_3 $\Rightarrow$ voir 9.4
- entre F_1 et C_2 $\Rightarrow$ voir l'Article 14

Les outils essentiels pour conduire l'investigation sur la sélectivité entre les dispositifs de protection sont les caractéristiques temps-courant et les valeurs de I^2t . L'IEC 60269-2 donne les caractéristiques temps-courant pour des temps $\geq 0,1$ s seulement. Les valeurs de I^2t pour des temps $< 0,1$ s doivent être donnés par le fabricant.



Légende

- C Disjoncteur
- F Fusible

Figure 7 – Sélectivité – Schéma général du réseau

9.2 Sélectivité entre fusibles

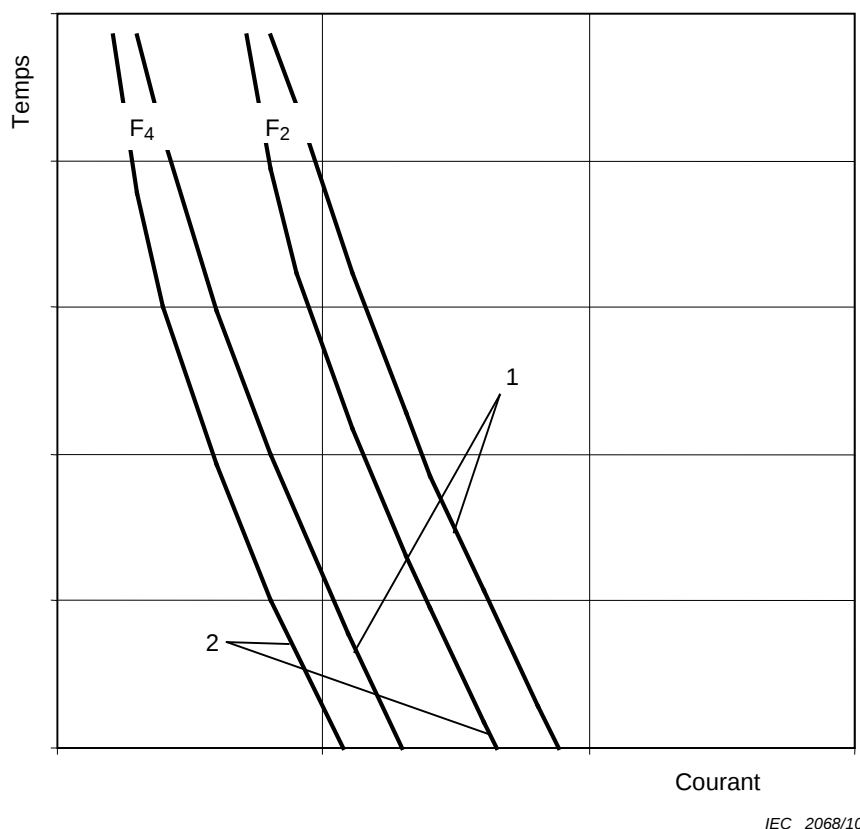
9.2.1 Généralités

La sélectivité entre des éléments de remplacement est vérifiée par les caractéristiques temps-courant pour des temps de fonctionnement supérieurs ou égaux à 0,1 s (voir Figure 8) et les valeurs I^2t de préarc et de fonctionnement pour des temps de fonctionnement inférieurs à 0,1 s.

NOTE Le fabricant de fusible doit donner les valeurs de I^2t de fonctionnement à la tension assignée en tenant compte d'une très faible impédance du défaut de court-circuit. En pratique I^2t de fonctionnement sera généralement inférieur à cause de l'impédance du défaut et de la tension réelle aux bornes du fusible durant son fonctionnement.

9.2.2 Vérification de la sélectivité pour un temps de fonctionnement supérieur ou égal à 0,1 s

Le temps maximal de fonctionnement du fusible F_4 doit être inférieur au temps minimal de préarc du fusible F_2 pour chaque valeur du courant présumé (voir Figure 8).



Légende

- 1 Temps maximal de fonctionnement
- 2 Temps minimal de préarc

Lorsque la caractéristique de l'élément de remplacement ne donne qu'une courbe, il convient que le fabricant indique une tolérance.

Figure 8 – Vérification de la sélectivité entre les fusibles F_2 et F_4 pour un temps de fonctionnement $t \geq 0,1$ s

9.2.3 Vérification de la sélectivité pour un temps de fonctionnement inférieur à 0,1 s

Pour ces temps de fonctionnement, on doit considérer les valeurs de I^2t . La valeur du I^2t maximal de fonctionnement du fusible F_4 doit être inférieure à la valeur du I^2t minimale de préarc du fusible F_2 .

9.2.4 Vérification de la sélectivité totale

Les exigences de 9.2.1 et de 9.2.2 doivent être respectées pour satisfaire à la sélectivité totale entre les fusibles F_2 et F_4 . Ces vérifications sont effectuées en examinant les caractéristiques temps-courant et les valeurs de I^2t du constructeur.

Les fusibles de même catégorie d'emploi, par exemple gG, de courant assigné supérieur ou égal à 16 A, selon l'IEC 60269-2, satisfont par définition aux exigences de sélectivité totale si le rapport des courants assignés est égal ou supérieur à 1,6:1. Il n'est pas nécessaire que l'utilisateur effectue de vérification supplémentaire. Dans le cas des fusibles gN et gD avec des courants assignés supérieurs à 15A le rapport est 2/1.

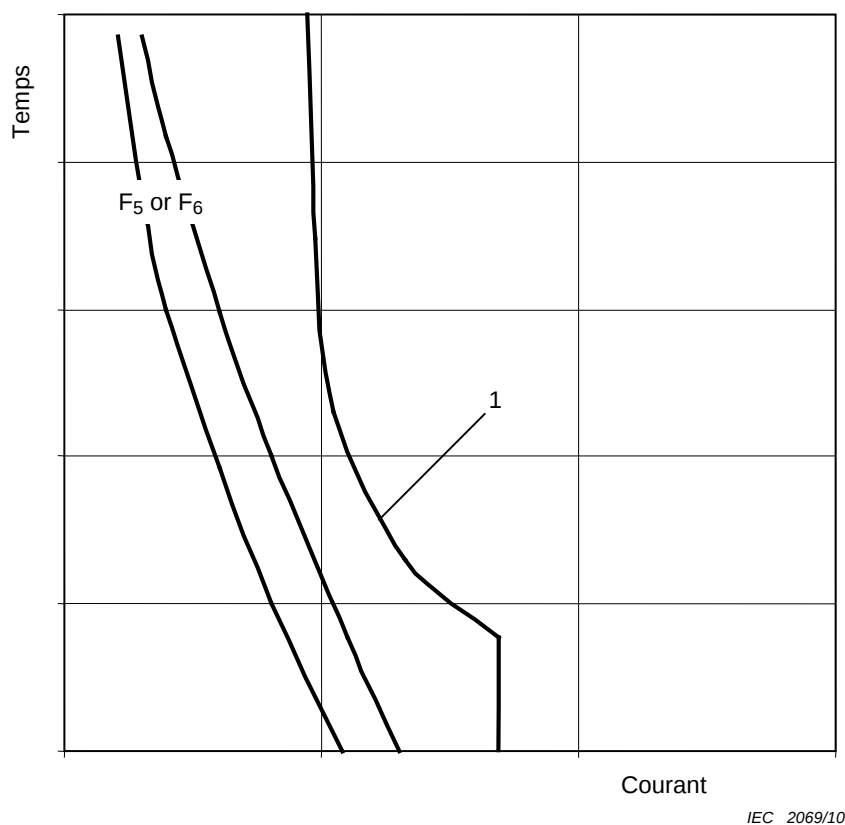
9.3 Sélectivité de disjoncteurs en amont de fusibles

9.3.1 Généralités

La sélectivité est vérifiée par les caractéristiques temps-courant, les valeurs de I^2t ou par des essais.

9.3.2 Vérification de la sélectivité pour un temps de fonctionnement supérieur ou égal à 0,1 s

Le temps maximal de fonctionnement des fusibles F_5 ou F_6 doit être inférieur au temps minimal de non-déclenchement du disjoncteur C_2 (voir Figure 9).



IEC 2069/10

Légende

- 1 Caractéristique minimale de non-déclenchement du disjoncteur C_2

Figure 9 – Vérification de la sélectivité entre le disjoncteur C_2 et les fusibles F_5 ou F_6

9.3.3 Vérification de la sélectivité pour un temps de fonctionnement inférieur à 0,1 s

La valeur de I^2t de fonctionnement du fusible doit être inférieure au I^2t minimum de déclenchement du disjoncteur.

Les valeurs de I^2t fusibles peuvent être obtenues à partir des valeurs normalisées.

Les informations concernant le disjoncteur peuvent être obtenues à partir de ses caractéristiques temps-courant et, dans la zone de déclenchement instantané, l'information doit être fournie par le constructeur.

9.3.4 Vérification de la sélectivité totale

Les exigences de 9.3.2 et de 9.3.3 doivent être respectées pour satisfaire à la sélectivité totale entre le disjoncteur C_2 et les fusibles F_5 ou F_6 .

En pratique, les constructeurs de disjoncteurs donnent des tableaux de sélectivité entre les disjoncteurs et les fusibles choisis. De tels choix sont aussi valables pour des fusibles de courant assigné inférieur ou équivalent.

9.4 Sélectivité de fusibles en amont de disjoncteurs

9.4.1 Généralités

La sélectivité est vérifiée par les caractéristiques temps-courant et les valeurs de I^2t ou par des essais.

9.4.2 Vérification de la sélectivité pour un temps de fonctionnement supérieur ou égal à 0,1 s

Le temps maximal de fonctionnement ou caractéristique de déclenchement du disjoncteur C_3 doit être inférieur au temps minimal de préarc du fusible F_2 (voir Figure 10).

9.4.3 Vérification de la sélectivité pour un temps de fonctionnement inférieur à 0,1 s

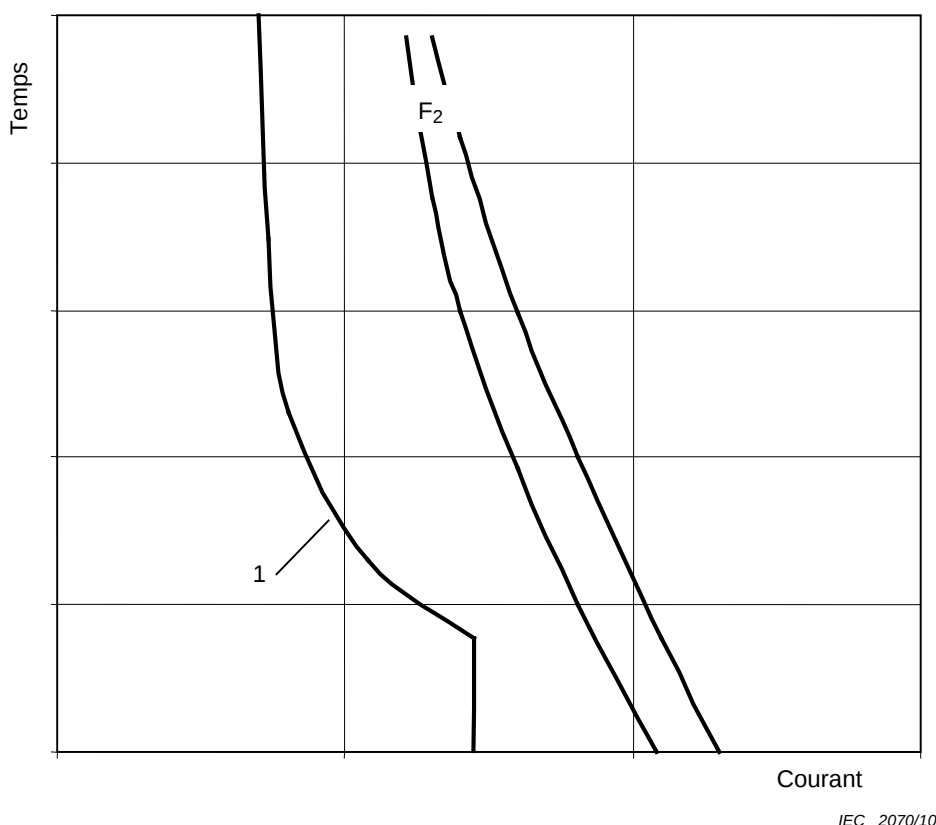
La valeur minimale de I^2t de préarc du fusible doit être supérieure au I^2t maximal de déclenchement du disjoncteur.

Les valeurs de I^2t fusibles peuvent être obtenues à partir des valeurs normalisées.

Les informations concernant le disjoncteur peuvent être obtenues à partir de ses caractéristique temps-courant et, dans la zone de déclenchement instantané, l'information doit être fournie par le constructeur.

9.4.4 Vérification de la sélectivité totale

Les exigences de 9.4.2 et de 9.4.3 doivent être respectées pour satisfaire à la sélectivité totale entre le disjoncteur C_3 et le fusible F_2 . Pour les courants présumés inférieurs à I_c (voir Figure 11), la sélectivité est réalisée. Pour les courants présumés supérieurs à I_c , la sélectivité n'est pas réalisée.

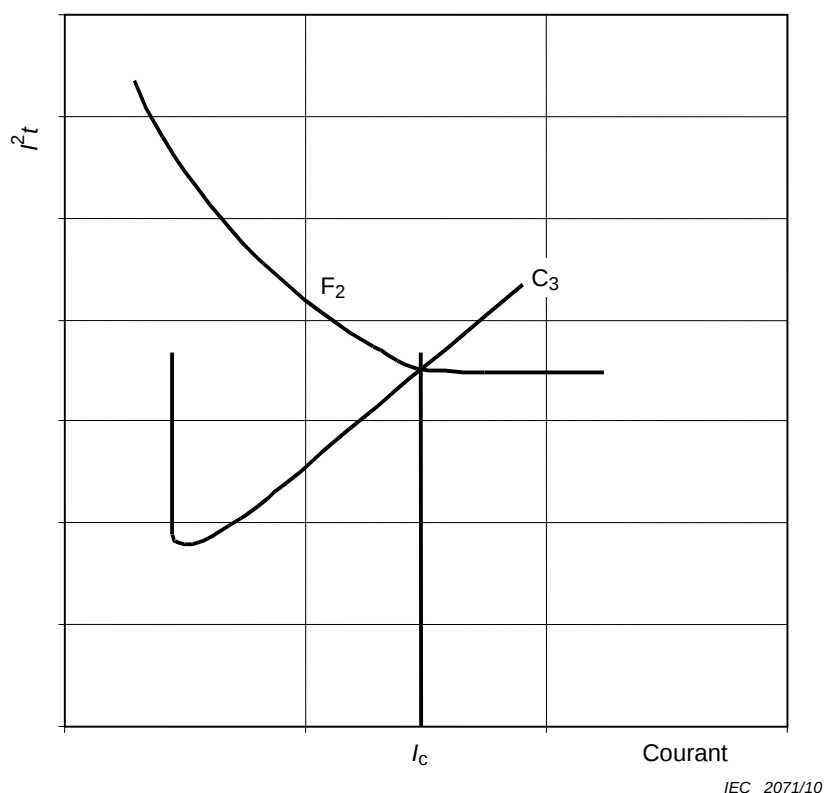


IEC 2070/10

Légende

- 1 Caractéristique de déclenchement du disjoncteur C_3

Figure 10 – Vérification de la sélectivité entre le fusible F_2 et le disjoncteur C_3 pour un temps de fonctionnement $t \geq 0,1$ s



NOTE I_c est le courant limite de la sélectivité.

Figure 11 – Vérification de la sélectivité entre le fusible F_2 et le disjoncteur C_3 pour un temps de fonctionnement $t < 0,1$ s

10 Protection contre les dommages dus au court-circuit

10.1 Généralités

Un court-circuit ou un défaut survient lorsqu'un passage du courant de faible impédance apparaît entre deux parties sous tension ou entre une partie sous tension et la terre généralement dû à une rupture de l'isolation, dommage mécanique, erreur de connexion ou accident.

10.2 Trajectoire du courant de court-circuit

Si le passage de courant est dû à une connexion solide, le courant augmente à une valeur dépendant de la tension et de l'impédance des conducteurs concernés. Typiquement, la connexion est de très faible impédance et le courant est très élevé, de telle sorte qu'il peut s'en suivre des détériorations mécaniques dues aux forces magnétiques qui attirent ou repoussent les conducteurs du circuit et par-là, les tordent ou détruisent les systèmes d'isolation. Le dommage thermique des conducteurs est dû à l'échauffement excessif et aux systèmes d'isolation altérés, suivi de la fusion des conducteurs et d'un arc.

Si le passage du courant n'est pas une connexion solide, un arc électrique s'amorce à l'endroit où la connexion est la plus faible. Cet événement est appelé un «défaut d'arc». Le courant augmente à une valeur dépendant de l'impédance des conducteurs plus l'impédance de l'arc. Typiquement, il en résulte des dommages mécaniques et thermiques accompagnés par une fusion localisée du conducteur et une vaporisation à l'endroit de l'arc. La vaporisation du métal dans l'air en présence d'un arc électrique est une situation dangereuse, et une explosion en résulte (souffle d'un arc). Sa sévérité dépend d'un certain nombre de paramètres

du circuit mais en particulier de l'importance de l'énergie disponible et de la quantité de matériau fondu disponible à vaporiser.

10.3 Limitation du courant

Les fusibles offrent une des méthodes les plus rentables de protection des équipements, aussi bien les personnes que les composants, contre les dommages dus aux courts-circuits, défauts et arcs. C'est l'inhérente capacité des éléments de remplacement à limiter le courant qui explique cela. Comme exposé plus haut, les éléments de remplacement fondent et coupent le courant très rapidement quand ils sont soumis à un courant élevé (voir 5.3.2.) Le courant de crête I_p qui s'établit après la fusion de l'élément de remplacement est très inférieur au courant présumé et le I^2t de fonctionnement est très réduit car le produit de remplissage du corps du fusible éteint les arcs qui s'établissent entre les parties de l'élément fusible (les durées de coupure typiques des fusibles sont inférieures à un demi-cycle.) Cette limitation de I_p , cette durée de coupure inférieure à un demi-cycle, et cette faible valeur du I^2t de fonctionnement procurent les avantages suivant en cas de court-circuit ou d'arc:

- Pas de dommages mécanique ou thermique des conducteurs et des systèmes d'isolation.
- Peu ou pas de fusion ou d'arc à l'endroit du défaut.
- Drastique réduction du niveau d'énergie d'arc conduisant à une efficace limitation de l'explosion due à l'arc.

10.4 Courant conditionnel de court-circuit assigné, pouvoir de coupure assigné

Les ensembles et les composants des systèmes électriques ont un courant de court-circuit assigné défini par le constructeur; c'est le courant de court-circuit présumé admissible, en terme d'amplitude et de durée, que le dispositif peut supporter à ses bornes.

Cette valeur assignée est établie à l'aide d'essais. Si un tel dispositif contient un élément de remplacement comme partie intégrante, il est exprimé comme I_{cc} , courant conditionnel de court-circuit assigné (voir l'IEC 61912-1:2007, Article 5).

Typiquement, les fusibles limiteurs de courant sont conçus pour être utilisés dans des circuits dont le court présumé est élevé et quand ils sont placés dans des ensembles ou des interrupteurs, ils procurent un I_{cc} assigné élevé à l'ensemble ou à l'interrupteur. Ceci permet une utilisation plus élargie du dispositif ou de l'interrupteur, puisqu'une pratique sûre impose que le I_{cc} assigné du dispositif ou de l'ensemble soit égal ou supérieur au courant de court-circuit présumé du système.

11 Protection des condensateurs de correction du facteur de puissance

L'IEC 60269-1 et l'IEC 60269-2 n'ont pas d'exigences ou d'essais de vérification de service pour les fusibles utilisés dans des circuits comportant principalement des condensateurs. L'utilisation de fusibles de catégories d'emploi gG et gN pour la protection contre les courts-circuits des condensateurs de correction de facteur de puissance selon l'IEC 60269-2 a été cependant une pratique bien établie de l'ingénierie depuis de nombreuses années.

Le fonctionnement fiable des fusibles de types gG et gN dans de telles applications requiert le choix d'éléments de remplacement satisfaisant aux considérations suivantes:

- courants d'appel élevés jusqu'à 100 fois le courant assigné du condensateur;
- courant permanent de fonctionnement jusqu'à 1,5 fois le courant assigné du condensateur (ceci inclut les harmoniques);
- augmentation de la tension de service de 1,2 fois durant 5 min pendant les périodes de faible charge;
- variation normale de la tension de service de 1,1 fois pendant 8 h.

- tolérances de charge du condensateur (et par conséquent du courant de fonctionnement) de +15 %;

Le courant assigné de l'élément de remplacement est choisi de telle façon que:

- les courants d'appel ne fondent pas ou ne détériorent pas l'élément fusible,
- les surintensités potentielles ne conduisent pas à un fonctionnement prématuré des éléments de remplacement.

Le courant assigné d'un fusible de types gG et gN est choisi de 1,6 à 1,8 fois le courant assigné du condensateur seul ou du banc de condensateurs. Sous cette condition, le fusible donne une protection fiable des condensateurs contre les courts-circuits. La protection contre les surcharges – le cas échéant – nécessite d'être fournie par des moyens supplémentaires appropriés. En règle générale, les fusibles pour les condensateurs de correction de facteur de puissance doivent être surcalibrés en fonction de leur courant et tension assignés. Cela est particulièrement vrai en ce qui concerne les unités de petits condensateurs ayant un courant d'appel important par rapport à leur courant assigné.

NOTE Les sections des câbles de connexion sont choisies en fonction du courant assigné du fusible (voir 8.2).

Le choix du fusible recommandé pour les tailles et les tensions des condensateurs de correction de facteur de puissance les plus courantes est indiqué dans le Tableau 6.

Tableau 6 – Choix du fusible pour les condensateurs de correction de facteur de puissance (fusibles selon l'IEC 60269-2, système A)

	Tension assignée (réseau triphasé 50 Hz)			
Condensateur de correction du facteur de puissance	400 V k = 2,5	525 V k = 2	690 V k = 1,5	1 000 V k = 1,5
Fusible	500 V	690 V	1 000 V ^a	1 500 V ^b
Taille du condensateur Q_N	Courant assigné I_N du fusible			
Jusqu'à 5 kVAR	16 A			
Jusqu'à 7,5 kVAR	20 A			
Jusqu'à 12,5 kVAR	32 A (35 A)	32 A (35 A)		
Jusqu'à 20 kVAR	50 A		32 A (35 A)	
Jusqu'à 25 kVAR	63 A	50 A		
Jusqu'à 30 kVAR	80 A	63 A	50 A	32 A (35 A)
Jusqu'à 40 kVAR	100 A	80 A	63 A	
Jusqu'à 50 kVAR	125 A	100 A	80 A	50 A
Jusqu'à 60 kVAR	160 A	125 A	100 A	63 A
Jusqu'à 80 kVAR	200 A	160 A	125 A	80 A
Jusqu'à 100 kVAR	250 A	200 A	160 A	100 A
Jusqu'à 125 kVAR	315 A	250 A	200 A	125 A
Jusqu'à 160 kVAR	400 A	315 A	250 A	160 A
Jusqu'à 200 kVAR	500 A	400 A	315 A	200 A
Jusqu'à 250 kVAR	630 A	500 A	400 A	250 A
^a 690 V peut également être possible sous certaines conditions (vérifier auprès du constructeur)				
^b 1 200 V ou 1 300 V peut également être possible sous certaines conditions (vérifier auprès du constructeur)				

Le courant assigné du fusible peut être calculé selon la méthode empirique suivante:

$$I_n = k \cdot Q_N$$

où

I_n courant assigné du fusible, en A;

Q_N taille du condensateur, en kvar;

k facteur du Tableau 6.

12 Protection de transformateur

12.1 Transformateurs de distribution à haute tension au primaire

Les transformateurs alimentent la plupart des systèmes de distribution basse tension à partir d'une haute tension primaire au-delà de 1 000 V alternatif. La protection de ces transformateurs contre les courts-circuits est généralement assurée par des éléments de remplacement haute tension au primaire, et de tels fusibles sont sélectionnés pour supporter le courant d'appel magnétisant durant la mise sous tension.

Des fusibles basse tension du côté secondaire de ces transformateurs de distribution assurent la protection de leurs circuits d'alimentation. Ces éléments de remplacement doivent être sélectifs par rapport aux éléments de remplacement côté primaire du transformateur, en prenant en compte le rapport de transformation approprié.

12.2 Transformateurs de distribution à primaire basse tension

Les systèmes de distribution suivant la pratique nord-américaine ont souvent des transformateurs avec primaire et secondaire basse tension, par exemple 480/277 V à 208/120 V. Ces transformateurs peuvent habituellement atteindre des puissances assignées de quelques kVA.

On utilise des éléments de remplacement côté primaire pour assurer la protection contre les courts-circuits. Des éléments de remplacement côté secondaire peuvent être utilisés pour assurer la protection du transformateur contre les surcharges. Dans certains cas, on utilise seulement des éléments de remplacement côté primaire tandis que dans d'autre cas des éléments de remplacement additionnels des circuits d'alimentations sont utilisés au secondaire, comme en 12.1.

Les éléments de remplacement du primaire doivent être sélectionnés pour supporter le courant d'appel magnétisant, et comme guide industriel on peut adopter:

- 20 fois le courant à pleine charge au primaire du transformateur durant 0,01 s et
- 12 fois le courant à pleine charge au primaire du transformateur durant 0,1 s
- La sélectivité entre le primaire et tous les éléments de remplacement du secondaire ainsi que toutes les autres protections contre les surcharges doit être assurée en tenant compte du rapport de transformation approprié.
- Dans certaines applications des transformateurs à basse tension au primaire et au secondaire sont utilisés, par exemple pour des chargeurs de batteries et des outils alimentés par des tensions jusqu'à 110 V.

12.3 Transformateurs de circuits de commande

Pour ces transformateurs de puissance faible, le courant d'appel magnétisant du premier demi-cycle peut atteindre 100 fois le courant à pleine charge. Beaucoup de transformateurs de circuits de commande ont une protection thermique interne car les dispositifs de protection contre les surcharges du côté primaire doivent être énormément surdimensionnés à cause des énormes courants d'appel.

13 Protection de circuit moteur

13.1 Généralités

Les fusibles sont couramment utilisés pour la protection des moteurs et des démarreurs de moteur. Les fusibles d'usage général tels que les catégories d'emploi gG et gN peuvent être utilisés à ce propos. Leur courant assigné doit être choisi afin de supporter le courant de démarrage du moteur, dépendant de la méthode de démarrage utilisée, par exemple:

- 6 à 8 fois le courant assigné du moteur pour démarrage en ligne directe,
- 3 à 4 fois le courant assigné du moteur alimenté en étoile-triangle ou par un autotransformateur.

Le courant assigné du fusible peut donc être significativement plus élevé que le courant assigné du moteur.

Des catégories d'emploi particulières de fusibles existent pour cette application, par exemple des fusibles de catégories d'emploi gD et gM qui sont des fusibles pouvant fonctionner à toutes les surcharges, et les fusibles de catégorie d'emploi accompagnement aM conçus pour protéger uniquement contre les courts-circuits. Ces catégories d'emploi particulières de fusibles sont conçus pour supporter des courants de démarrage élevés des moteurs sans nécessiter une augmentation du courant assigné comme c'est le cas pour les fusibles de catégorie d'emploi à usage général et ils dissipent une faible puissance. Les caractéristiques de ces fusibles peuvent être trouvées dans l'IEC 60269-1 et dans l'IEC 60269-2.

Les constructeurs de fusibles fournissent des données pour les fusibles d'application moteur. Les fusibles pour la protection des circuits moteur sont choisis afin d'assurer la sélectivité avec la protection des moteurs assurée par un relais de surcharge associé au démarreur de moteur.

13.2 Coordination entre fusible et démarreur de moteur

La coordination entre les démarreurs de moteurs et les fusibles qui les protègent est couverte dans les normes IEC par des spécifications et des essais tels que ceux de l'IEC 60947-4-1. Deux types de coordinations sont définis: type 1 et type 2 (voir aussi le Tableau A.3).

Le but d'une coordination réussie est d'assurer une protection appropriée contre les courants de court-circuit et la sélectivité entre le démarreur et le fusible. Une sélectivité satisfaisante évitera la détérioration du contacteur et une ouverture intempestive du circuit moteur.

Des recommandations pour sélectionner l'élément de remplacement adapté à utiliser en association avec le contacteur/ démarreur de moteur sont indiquées dans les catalogues des constructeurs.

Le but de ce paragraphe est de guider l'utilisateur pour sélectionner un fusible de remplacement alternatif à celui qui est spécifié par le fabricant du démarreur. Les règles d'installation correspondantes doivent être suivies.

Des informations plus détaillées sont données dans l'Annexe A pour spécifier les essais et les calculs nécessaires pour obtenir la coordination entre le démarreur de moteur et le fusible qui le protège.

Les essais sont définis pour trois niveaux de courant présumé selon l'IEC 60947-4-1:

- a) au voisinage du courant I_{CO} défini comme la coordination au courant d'intersection (voir 13.4.) Les essais sont effectués à $0,75 I_{CO}$, valeur pour laquelle le démarreur doit interrompre le courant sans subir de dommage et les fusibles ne pas fonctionner, et à $1,25 I_{CO}$, valeur pour laquelle les fusibles doivent avoir fonctionné avant le démarreur (voir

Figure 12). Cette vérification de coordination au courant d'intersection est également possible par une méthode directe (voir B. 4. 5 de l'IEC 60947-4-1:2009)

- b) la valeur appropriée du courant présumé «r» telle que définie dans le Tableau 12 de l'IEC 60947-4-1:2009 (voir Tableau A.2);
- c) à la valeur du courant assigné de court-circuit conditionnel I_q , spécifiée par le constructeur, si celle-ci est supérieure au courant d'essai «r».

Le fusible sélectionné doit supporter le courant de démarrage du moteur et est normalement sélectionné à partir des recommandations du fabricant et en accord avec les règles d'installation nationales.

Des exemples d'éléments de remplacement adaptés pour la protection des moteurs sont donnés dans le Tableau A.1.

Le point d'intersection des courbes caractéristiques du fusible et du démarreur doit être compris dans les limites du pouvoir de coupure du contacteur et le fusible est choisi de façon qu'il ne fonctionne pas lorsqu'il supporte le courant de démarrage du moteur (voir Figure 12).

13.3 Critères pour la coordination au courant assigné de court-circuit conditionnel I_q

Lignes directrices pour choisir le courant assigné maximal d'un type de fusible alternatif: l'Annexe A de l'IEC 61912-1:2007 détaille la méthode à utiliser. Dans l'ensemble, on doit vérifier les points suivants.

Les valeurs de tension, de courant et de courant de court-circuit conditionnel (I_q) pour le circuit ne doivent pas être supérieurs aux données testées de référence.

Considérant les caractéristiques du fusible de substitution, les valeurs de I_C et de I^2t doivent être déterminées pour le courant de court-circuit conditionnel I_q et à la tension $U \sqrt{3}/2$.

Les valeurs de I_C et de I^2t ainsi déterminées ne doivent pas être supérieures aux valeurs de l'essai de référence.

La conformité aux critères ci-dessus montre que le fusible de substitution est valable et aucune vérification supplémentaire n'est requise.

13.4 Critères pour la coordination au courant d'intersection I_{co}

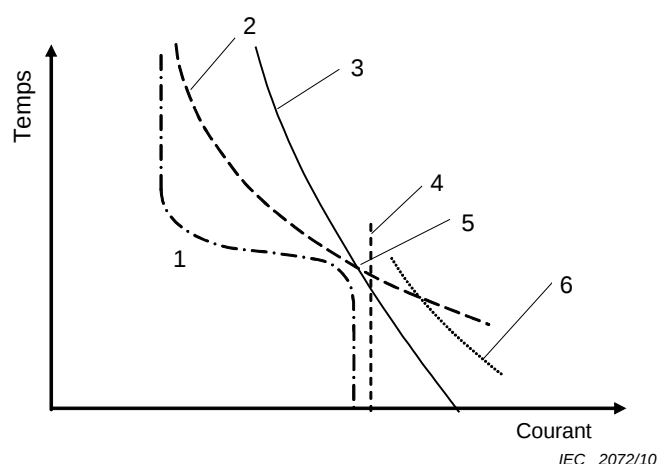
I_{co} est le courant correspondant à l'intersection des caractéristiques moyennes temps/courant des fusibles et du relais de surcharge du démarreur (voir Figure 12). Les essais pour assurer une coordination appropriée à I_{co} sont prescrits dans l'Article B.4, de l'IEC 60947-4-1:2009.

Les facteurs importants sont:

- la non-détérioration des caractéristiques du relais de surcharge;
- I_{co} doit être inférieur au courant de tenue électrodynamique des contacts des contacteurs et du relais de surcharge;
- la caractéristique temps/courant de fonctionnement du fusible associé à des courants supérieurs à I_{co} , doit être inférieure aux caractéristiques de non-détérioration du relais de surcharge et du contacteur dans la région où le fusible a pris en charge la protection.

Donc, si en variante, un type de fusible de remplacement est utilisé sans essai ultérieur, son courant d'intersection ne doit pas excéder la valeur de I_{co} observée dans l'essai de type et sa caractéristique temps/courant à des courants supérieurs à I_{co} ne doit montrer aucun temps plus grand que celui du fusible utilisé dans la combinaison essayée ou sinon le démarreur risque d'être endommagé.

Un fusible choisi de cette façon et conformément à l'IEC 60947-4-1, fournit une protection au démarreur et au matériel associé pour des surintensités dépassant le pouvoir de coupure du démarreur jusqu'au courant de court-circuit conditionnel du démarreur.



Légende

- | | |
|--|---|
| 1 Courant du moteur | 4 Pouvoir de coupure du contacteur |
| 2 Caractéristique temps-courant du relais de surcharge | 5 Courant d'intersection I_{co} |
| 3 Caractéristique temps-courant de l'élément de remplacement | 6 Limites thermiques du relais de surcharge |

Figure 12 – Coordination entre le fusible et le démarreur

13.5 Critères de coordination au courant d'essai "r"

Dans l'ensemble, les caractéristiques à prendre en considération pour un fusible de substitution sont les valeurs de I_c et de I^2t comme suggéré dans l'Annexe A de l'IEC 61912-1:2007. Il est généralement admis que lorsque ces conditions sont remplies pour les valeurs de I_q elles sont également remplies pour le courant "r".

14 Protection des disjoncteurs installés dans les circuits de tensions assignées c.a. et c.c.

Les disjoncteurs ayant des pouvoirs de coupure inférieurs au courant présumé de court-circuit du système doivent être protégés par un autre dispositif de protection contre les courts-circuits (DPCC) en amont ayant un pouvoir de coupure suffisamment élevé.

Les éléments de remplacement offrent une solution économique efficace pour cette application (voir Figure 7, F_1 et C_1). En cas de courts-circuits, les éléments de remplacement limiteurs de courant ouvrent rapidement (en moins d'un $\frac{1}{4}$ de cycle) réduisant ainsi le courant présumé et par-là l'énergie électrique vue par le disjoncteur en aval à des niveaux très en dessous des capacités du disjoncteur.

Le fusible peut être d'usage général (catégories d'emploi gG et gN), d'accompagnement (aM) ou de catégorie d'emploi «toutes surcharges» (gD et gM) pour les circuits moteur.

La sélection d'une catégorie d'emploi de fusible adapté et de son courant assigné pour protéger un disjoncteur particulier n'est pas simple et des résultats fiables ne peuvent pas être obtenus par un simple calcul.

La principale raison de la difficulté de la sélection est que les niveaux du courant crête et de l'énergie totale (I^2t) supportés varient entre les types de disjoncteurs et selon les fabricants

de disjoncteurs. Pour assurer la sécurité des personnes et la protection satisfaisante du disjoncteur, les catégories d'emploi de fusibles et leurs calibres sont testés en combinaison avec les disjoncteurs avals.

Les résultats de ces essais et les combinaisons fusible-disjoncteurs acceptables sont disponibles en consultant les fabricants de fusibles ou de disjoncteurs ou des organismes certifiés qui ont supervisé les essais de ces combinaisons.

Il est possible de sélectionner une catégorie d'emploi de fusibles différente de ceux utilisés dans les séries d'essais à condition que cette catégorie d'emploi de fusible ait des valeurs de I_p et de I^2t de fonctionnement inférieures ou égales aux valeurs du fusible testé initialement.

15 Protection des dispositifs à semiconducteurs dans les circuits de tensions assignées c.a. et c.c.

Les valeurs des I^2t de tenue des dispositifs à semiconducteurs de courants assignés donnés sont considérablement inférieures à ceux des autres dispositifs et circuits de mêmes courants assignés. Les éléments de remplacement utilisés dans les circuits contenant des dispositifs à semiconducteur doit donc être capable d'intervenir plus rapidement, à des courants donnés, que les éléments de remplacement utilisés dans les autres applications.

Il est courant que plusieurs semiconducteurs soient présent dans un élément d'un équipement tel qu'un redresseur ou un onduleur. Le dispositif de protection doit idéalement satisfaire aux conditions qui suivent.

Dans l'éventualité d'une défaillance d'un dispositif à semiconducteur, l'interruption doit être effectuée suffisamment tôt pour éviter la détérioration des autres dispositifs. (Dans ces circuits, l'expérience montre que la défaillance des semiconducteurs conduit à un grand courant de court-circuit.)

Pour les autres défauts dans l'équipement, il convient que l'interruption intervienne avant qu'ils ne détériorent les dispositifs à semiconducteurs. Il convient que des surcharges potentiellement dommageables soient éliminées avant que les dispositifs ne soient détruits.

Il est recommandé que le fonctionnement de l'élément de remplacement ne provoque pas de surtensions élevées qui puissent influencer les dispositifs à semiconducteurs. Les exigences de performances des éléments de remplacement pour la protection des appareils à semiconducteurs sont spécifiées dans l'IEC 60269-4 et de tels éléments de remplacement sont traditionnellement de la catégorie «courant de court-circuit seulement» ou «d'accompagnement», catégorie d'emploi aR. Alors que les éléments de remplacement «d'accompagnement» (aR) fournissent une protection rapide des appareils, dans de nombreux circuits une autre protection contre les surcharges (à déclenchement thermique telle que gG ou autre) doit être ajoutée pour protéger le reste des éléments du circuit. La limite de courant minimum de fonctionnement d'un élément de remplacement de catégorie d'emploi aR est exprimée en tant que multiple du courant assigné.

A la suite du développement des systèmes et des pratiques de protection, il y a un besoin croissant concernant l'utilisation d'éléments de remplacement pour la protection des appareils à semiconducteurs avec un pouvoir de coupure «toute surintensité», ce qui élimine le recours à un ou plusieurs des composants mentionnés ci-avant. Par exemple, on place l'élément de remplacement à l'entrée de l'alimentation plutôt qu'à l'intérieur du convertisseur. Dans ce cas, l'élément de remplacement doit protéger le câble associé, en plus des semiconducteurs de puissance du convertisseur.

Deux autres classifications «toute surintensité» ont été introduites dans l'IEC 60269-4; les éléments de remplacement «gR» optimisés pour fournir une faible valeur I^2t , et les éléments de remplacement «gS» optimisés pour fournir une faible puissance dissipée. Les éléments de remplacement «gS» sont compatibles avec les socles et les combinés-fusibles normalisés. Les éléments de remplacement gR et gS doivent fonctionner dans le temps conventionnel à 1,6 fois leur courant assigné; ils doivent toutefois supporter la valeur indiquée dans le Tableau 7 en termes de temps conventionnel.

Tableau 7 – Courant conventionnel de non-fusion

Type «gS»	Type «gR»
1,25 I_n	1,13 I_n

Selon l'endroit où est placé l'élément de remplacement dans un circuit utilisant des appareils à semiconducteurs, il doit être de tension assignée alternative ou continue ou les deux. Il convient de choisir des éléments de remplacement comportant des tensions assignées et des pouvoirs de coupure adéquats.

La constante de temps du circuit influence la caractéristique assignée de tension continue pouvant être atteinte par un élément de remplacement. Les constantes de temps auxquelles les éléments de remplacement pour la protection des appareils à semiconducteurs sont soumis à essai sont fournies dans la norme et sont représentatives des constantes de temps constatées dans les installations électriques types. La protection des onduleurs à source de tension (VSI) est un cas spécial, qui est fournie lorsque des condensateurs sont utilisés dans le circuit d'alimentation électrique. Dans les convertisseurs VSI (Voltage Source Inverter), la constante de temps du circuit peut être significativement inférieure aux circuits à courant continu classiques et la norme IEC 60269-4 comporte ainsi des exigences de performances spécifiques pour les éléments de remplacement auxquels peut être affectée une tension assignée VSI en plus des caractéristiques assignées de tension alternative et de tension continue.

Les fabricants d'éléments de remplacement pour la protection des dispositifs à semiconducteurs donnent des conseils détaillés pour la sélection des éléments de remplacement pour une grande variété d'applications. En addition, d'utiles informations sont données dans ce qui suit:

- L'Annexe AA de l'IEC 60269-4:2009 donne des indications utiles pour la coordination des éléments de remplacement avec les dispositifs à semiconducteurs. Cette annexe explique la performance que l'on peut attendre des éléments de remplacement du point de vue de leurs valeurs assignées et du point de vue des circuits auxquels ils appartiennent, de telle sorte que cela constitue les bases de la sélection des éléments de remplacement.
- L'Annexe BB de l'IEC 60269-4:2009 donne la liste des informations que le fabricant doit fournir dans sa littérature (catalogue) pour un élément de remplacement conçu pour la protection des dispositifs à semiconducteurs.
- L'IEC/TR 60146-6 est un guide d'application pour les fusibles de protection des convertisseurs à semiconducteurs contre les surcharges. Il se limite aux convertisseurs à commutation par le réseau à simple voie ou à double voie. Ce rapport technique donne des indications concernant les caractéristiques spécifiques des fusibles et des convertisseurs à considérer pour assurer une utilisation correcte des fusibles pour semiconducteurs, et des recommandations pour un fonctionnement sans incident des convertisseurs protégés par des fusibles.

16 Fusibles sous enveloppes

16.1 Généralités

Quand les fusibles sont installés dans des enveloppes ayant une dissipation de chaleur restreinte, leur température de fonctionnement peut atteindre un niveau qui modifie les caractéristiques normalisées. Les conditions de fonctionnement en service selon l'IEC 60269-1 considèrent une ventilation naturelle avec une température ambiante inférieure ou égale à 40 °C.

Il n'y a pas de règle générale pour définir les limites de l'utilisation des fusibles dans les installations existantes, avec des espaces confinés dont la température ambiante est supérieure à 40 °C. Dans de tels cas, les fabricants du fusible et du matériel doivent être consultés.

16.2 Température limite des éléments de remplacement gG selon l'IEC 60269-2 – Système A

Des recherches préliminaires montrent que la température limite des couteaux de 130 °C est appropriée. Il est suggéré d'utiliser cette température limite pour vérifier l'essai d'échauffement dans les ensembles d'appareillage à fusibles.

Cela donne des résultats satisfaisants pour les éléments de remplacement gG selon l'IEC 60269-2, système A. Les avantages à mesurer la température du couteau plutôt que la température de l'air ambiant ou des bornes sont les suivants:

- facilité d'accès du point d'essai de l'élément fusible;
- mesure fiable de la température sur les contacts en matériau solide;
- applicable à toutes les conceptions d'appareillage à fusibles.

La température limite de 130 °C est un maximum pour un temps de fonctionnement réduit. En cas de fonctionnement en permanence, une valeur limite de température de 100 °C est recommandée.

16.3 Autres éléments de remplacement

Pour d'autres éléments de remplacement ou des conditions d'utilisation inhabituelles, il convient que l'utilisateur consulte le constructeur de fusibles.

17 Applications en courant continu

17.1 Généralités

Les applications de courant continu (c.c.) de puissance sont largement utilisées et la demande va augmenter dans le futur proche, du fait de la production de sources c.c. et la distribution de circuits c.c. telles que: éoliennes, énergie hydraulique, système photovoltaïque, énergie géothermique, pile à combustible, chargeur de véhicule électrique et/ou installation et circuits de distribution de courant, circuits intermédiaires dans les convertisseurs c.c./c.c., mais également c.a./c.c. et les circuits de contrôle.

De nombreuses sources de courant c.c. ont des caractéristiques différentes des sources de courant a.c.. C'est le cas des batteries qui fournissent une puissance constante et les cellules photovoltaïques qui peuvent être considérées comme des sources de courant. Des précautions particulières de sélection et de protection des appareils et des équipements doivent être prises en compte selon le type de circuit c.c.

17.2 Protection contre les courts-circuits

Les fusibles limiteurs de courant sont généralement appropriés dans des applications en courant alternatif ou continu. Le fonctionnement en courant continu des éléments de remplacement est cependant différent et les caractéristiques assignées pour les applications en courant alternatif ne peuvent s'appliquer pour le courant continu. Il n'existe pas de règle simple pour convertir de façon sûre des caractéristiques assignées de tension en courant alternatif en caractéristiques assignées de tension en courant continu. Tandis que dans les circuits en courant alternatif le facteur de puissance est le principal paramètre à considérer, la constante de temps $T = L/R$ (voir Figure 13) est le facteur prépondérant pour les circuits en courant continu. Quand la constante de temps augmente, la caractéristique en tension assignée continue diminue. Le pouvoir de coupure en courant continu d'un élément de remplacement est obtenu à partir d'un essai dans un circuit représentatif.

Dans des conditions de court-circuit en courant continu, le fonctionnement du fusible est semblable à celui en courant alternatif (voir Figure 3). Les courants coupés-limités ne peuvent pas être pris dans les courbes de courant coupé-limité disponibles en alternatif, car elles dépendent de la constante de temps du circuit. Les valeurs en courant continu peuvent être prises dans la documentation du constructeur ou déterminées par des essais.

Les fusibles ne sont pas polarisés, comme c'est le cas d'autres appareils.

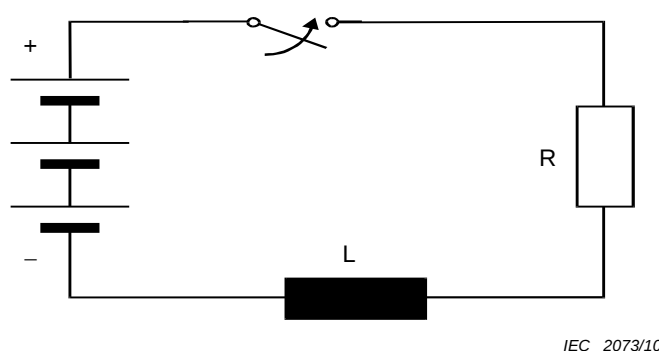
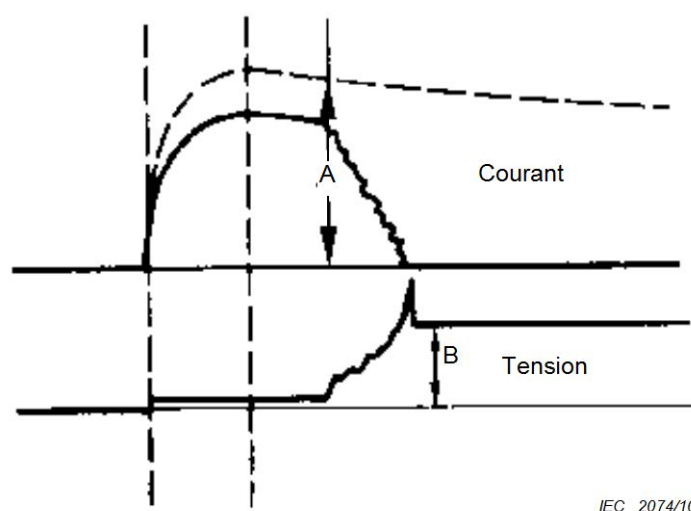


Figure 13 – Circuit en courant continu

17.3 Protection contre les surcharges

Dans des conditions de surcharge, c'est-à-dire un fonctionnement sans limitation de courant, le fonctionnement du fusible est différent dans des circuits en courant alternatif et en courant continu (voir Figure 14). Etant donné qu'il n'y a pas de passage à zéro périodique du courant, la caractéristique assignée de tension continue est inférieure à la caractéristique assignée de tension alternative.



Légende

A Courant présumé

B Tension de rétablissement

Figure 14 – Coupure en courant continu

Les caractéristiques assignées en courant continu des éléments de remplacement selon l'IEC 60269-2 sont relatives à une constante de temps de 20 ms avec un pouvoir de coupure d'au moins 25 kA. Les tensions assignées types c.c. des éléments de remplacement sont présentées dans le Tableau 5. Les constantes de temps de quelques applications typiques sont présentées dans le Tableau 8.

Tableau 8 – Constantes de temps de circuits typiques en courant continu

Application	Constante de temps ms
Circuits de charge et de commande industrielle en courant continu	≤ 10
Batteries d'alimentation pour les ASI	≤ 5
Entraînement à vitesse variable et moteurs à courant continu	20 à 40
Alimentation d'aimants et de champs	Jusqu'à 1 000

17.4 Caractéristiques temps-courant

Les caractéristiques temps-courant moyennes fournies par les constructeurs de fusibles donnent les valeurs efficaces des courants de fonctionnement, qui sont égales aux valeurs en courant continu en régime établi. Dans des conditions transitoires, les valeurs instantanées et efficaces peuvent être significativement différentes. Ainsi la caractéristique temps-courant dépend de la constante de temps du circuit en défaut (voir Figure 15).

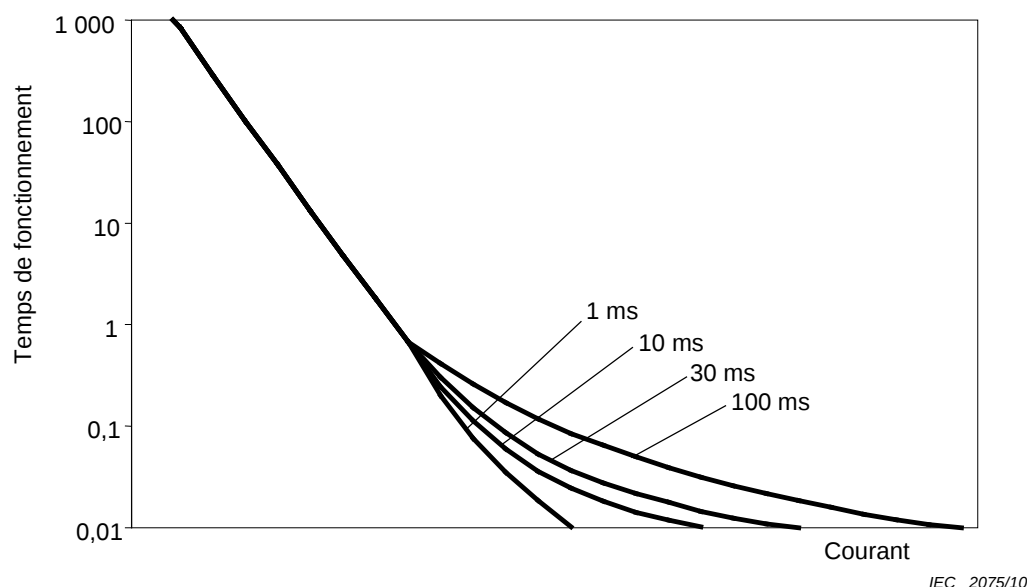


Figure 15 – Temps de fonctionnement du fusible pour différentes constantes de temps en courant continu

18 Coupure automatique pour la protection contre les chocs électriques dans les installations des bâtiments

18.1 Généralités

Un élément de remplacement limiteur de courant est un dispositif de protection capable de fournir une excellente protection du circuit. Il peut être utilisé avantageusement pour la protection contre les chocs électriques par coupure automatique de l'alimentation.

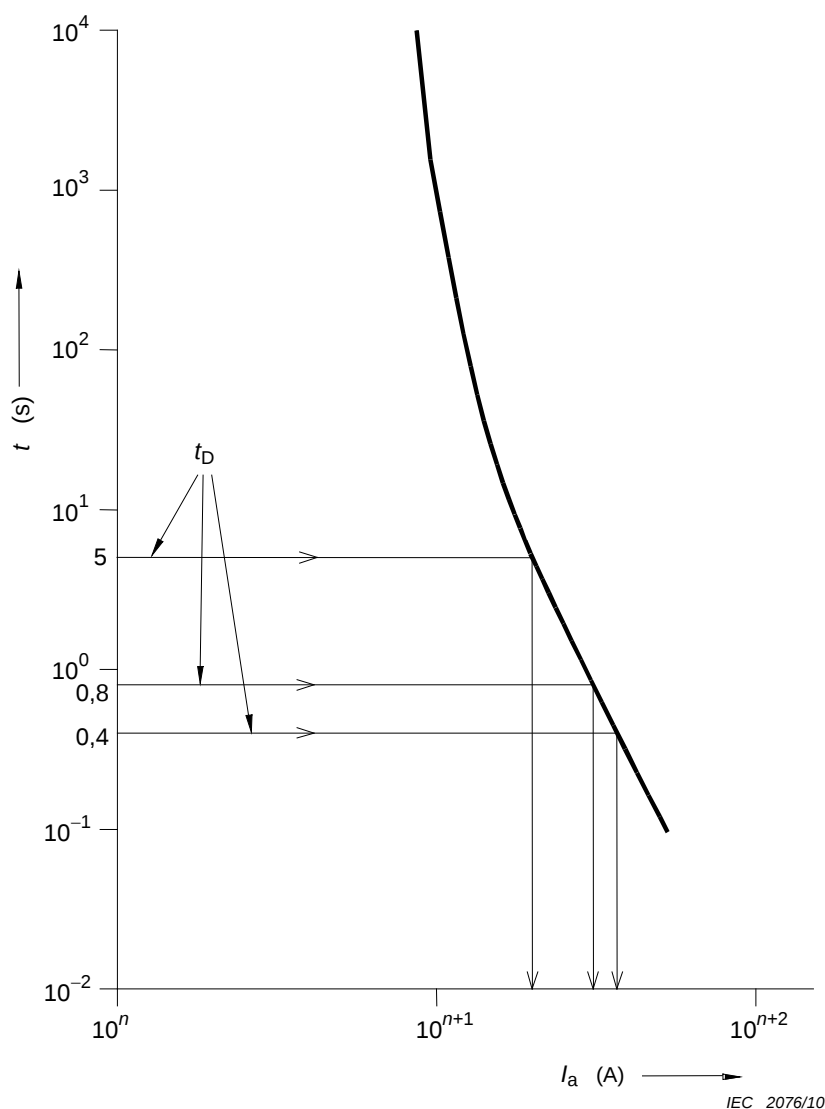
La protection par coupure automatique de l'alimentation est traitée dans l'IEC 60364-4-41:2005, spécialement en 413.1.

Il existe trois schémas de base des réseaux de distribution à basse tension (TN, TT et IT).

18.2 Principe de la protection

La protection par coupure automatique de l'alimentation est basée sur le fonctionnement du fusible qui coupe l'alimentation du circuit. Dans le cas d'un défaut entre une partie active et une masse ou un conducteur de protection du circuit ou du matériel, une tension de contact présumée dépassant 50 V en courant alternatif ou 120 V lisses en courant continu ne doit pas persister suffisamment longtemps pour provoquer des effets physiologiques dangereux pour une personne. Indépendamment de la tension de contact, un temps de coupure ne dépassant pas 5 s est autorisé dans certaines circonstances. Pour quelques types de schémas (TN, IT), des temps de coupure plus courts sont exigés. Voir les exemples en 18.3.

Pour déterminer les conditions de coupure de la source d'alimentation par les éléments de remplacement limiteur de courant, la caractéristique temps-courant doit être disponible. Tout d'abord, le temps exigé pour la coupure doit être considéré selon le type du matériel protégé, le type de liaison à la terre et l'environnement. Ensuite le courant I_a , qui provoque le fonctionnement de l'élément de remplacement, est évalué. La méthode est indiquée à la Figure 16. Enfin, le courant I_a est utilisé pour calculer l'impédance de la boucle de défaut ou la résistance de la terre.



Légende

- t Temps maximal de fonctionnement
- I_a Courant présumé
- t_D Temps de coupure

Figure 16 – Caractéristique temps-courant

18.3 Exemples

Exemple 1: Schéma TN, 230/400 V

Procédure: Utiliser le Tableau 41A de l'IEC 60364-4-41:2005 pour $U_o = 230$ V, le temps de coupure automatique nécessaire: 0,4 s. Puis trouver le courant I_a à la Figure 16. Ensuite, l'impédance de la boucle de défaut peut être calculée selon la formule suivante:

$$Z_s \leq \frac{U_o}{I_a}$$

où

Z_s est l'impédance de la boucle de défaut, y compris la source, le conducteur actif en amont du point de défaut et le conducteur de protection entre le point de défaut et la source;

I_a est le courant provoquant le fonctionnement du fusible dans le temps donné en fonction de la tension nominale U_0 ou, dans les conditions données dans un temps conventionnel ne dépassant pas 5 s;

U_0 est la tension nominale entre phase et terre.

Exemple 2: Schéma TT, 230/400 V

Procédure: Selon l'IEC 60364-4-41, un temps de coupure de 5 s est exigé. Déterminer le courant I_a à la Figure 16. Ensuite, la résistance maximale de terre autorisée peut être calculée selon la formule suivante:

$$R_A \leq \frac{50}{I_a}$$

où R_A est la résistance de terre totale.

Exemple 3: Schéma IT, 230/400 V, neutre non distribué, calcul pour le second défaut dans le schéma.

Procédure: Lire dans l'IEC 60364-4-41 pour $U_0 = 230$ V, le temps de coupure nécessaire automatique: 0,4 s. Puis trouver le courant I_a à la Figure 16. Ensuite, l'impédance de la boucle de défaut peut être calculée selon la formule suivante:

$$Z_s \leq \frac{\sqrt{3} U_0}{2 I_a}$$

Exemple 4: Schéma IT, 230/400 V, neutre distribué. Calcul pour le second défaut dans le schéma.

Procédure: Lire dans l'IEC 60364-4-41 pour $U_0 = 230$ V, le temps de coupure nécessaire automatique: 0,8 s. Puis trouver le courant I_a à la Figure 16. Ensuite, l'impédance de la boucle de défaut peut être calculée selon la formule suivante:

$$Z'_s \leq \frac{U_0}{2 I_a}$$

19 Modules photovoltaïques (PV) et protection des générateurs

19.1 Généralités

Les systèmes PV (photovoltaïques) consistent à raccorder des modules PV ou panneaux solaires individuels en série pour former une «chaîne» de modules réalisant un générateur solaire dont la tension est la somme de la tension de chaque cellule. Une ou plusieurs chaînes doivent donc être raccordées en parallèle pour fournir un courant plus important. Ces combinaisons de chaînes en parallèle sont appelées sous groupes (sub-arrays). Le courant continu généré doit être transformé en courant alternatif de façon à être utilisable par le réseau électrique de puissance, aussi un (ou des) onduleur(s) font également partie des systèmes. Certains systèmes PV possèdent des batteries ou une autre manière de stocker l'énergie c.c. Pour améliorer la fiabilité et fournir de la puissance lorsque le soleil n'est pas présent.

Les modules PV sont des appareils limiteurs de courant, qui sont capables de tenir des courants de charge jusqu'à leur courant de court-circuit assigné I_{SC_STC} (voir NOTE) ainsi que des surintensités ponctuelles causées par un éclairement énergétique supérieur à la valeur définie dans les normes.

NOTE Conditions d'essai normalisées STC: température de la cellule: 25 °C, éclairement énergétique: 1 000 W/m², facteur de masse d'air relative: AM 1,5

Les modules PV peuvent être endommagés par des courants inverses dépassant la capacité de tenue aux courants inverses des modules $I_{MOD_REVERSE}$ déclarée par le fabricant. Ces courants de défaut peuvent avoir de multiples conséquences telles que dommages permanents aux modules PV, diminution du rendement, endommagement des conducteurs et formation possible d'arcs électriques et d'incendies. Par conséquent un fusible doit être installé en série avec chaque chaîne pour empêcher les courants inverses provenant des autres chaînes raccordées en parallèle et qui pourraient endommager le(s) module(s).

L'interconnexion des fils et câbles utilisés pour raccorder les sous groupes et les groupes doit être protégé thermiquement contre les dommages dues aux surcharges en courant au delà de leur courant nominal si elles persistent. Donc un fusible doit être installé dans chaque conducteur de sous groupe et de groupe.

Les directives suivantes concernant le choix des fusibles de chaîne PV s'appliquent essentiellement aux générateurs PV dépourvus de batteries d'accumulateurs ou équipés d'onduleurs ne pouvant pas effectuer de réalimentation à partir du réseau. Un système PV doté d'autres composants (batteries, convertisseurs, condensateurs, etc.) peut exiger une protection complémentaire propre contre les surintensités.

19.2 Choix des éléments de remplacement PV

19.2.1 Catégorie d'emploi des fusibles utilisés

Des éléments de remplacement spéciaux nommés «gPV» pour la protection des modules PV, des sous groupes et des groupes sont décrits dans l'IEC 60269-6. Aucune autre catégorie d'emploi ne doit être utilisée.

19.2.2 Éléments de remplacement de chaîne PV

Le choix des fusibles de chaîne PV est fonction de la capacité de tenue aux courants inverses des modules $I_{MOD_REVERSE}$. Les fabricants de modules PV fournissent les valeurs adéquates sous la forme d'un multiple d' I_{SC_STC} ou font état d'une caractéristique assignée de courant de fusible maximale. (Si les données de type du fusible ne sont pas disponibles, il est fortement recommandé de s'adresser au fabricant du module pour obtenir ces informations.)

Aucune protection contre les courants de défaut n'est exigée dans les systèmes PV ne comportant qu'une ou deux chaînes raccordées en parallèle, où les courants de défaut ne peuvent pas dépasser la capacité de tenue aux courants inverses des modules PV. Si le calibre du câble est toutefois dépassé, dans ce cas un élément de remplacement gPV devrait être installé pour protéger le câble. Pour les systèmes PV comportant 3 ou plus de chaînes raccordées en parallèle, l'exigence d'une protection par fusible est requise.

19.2.3 Remplacement des fusibles

Il est recommandé d'utiliser des combinés-fusibles (fusibles-sectionneurs dans les chaînes) pour permettre le remplacement en toute sécurité des éléments de remplacement.

19.2.4 Systèmes PV non raccordés à la masse ou à la terre

Les systèmes PV non raccordés à la terre (parfois appelés «non mis à la masse» dans certains pays) exigent des fusibles de protection et de coupure des surintensités sur les 2 polarités négatives et positives des chaînes PV.

19.2.5 Fusibles de mise à la terre fonctionnelle

Ces fusibles sont utilisés pour la protection des circuits de mise à la terre des sous groupes PV et des groupes PV. (Les recommandations à suivre concernant les éléments de

remplacement pour la protection des circuits de mise à la terre fonctionnelle peuvent être trouvés dans la norme IEC 60364-7-712:2002, 4.101 et 532.103 et Tableau 101.)

19.2.6 Fusibles de remplacement de groupe PV et de sous-groupe PV

Les fusibles de groupe PV et de sous-groupe PV doivent être installés pour interrompre toute surintensité dans ces conducteurs avant que celle-ci ne puisse occasionner une élévation de la température susceptible de détériorer l'isolation des câbles (voir 19.2.10 pour le guide de sélection du courant assigné).

19.2.7 Surveillance des fusibles (chaîne ou groupe)

La surveillance électronique des fusibles est recommandée pour faire état du fonctionnement des éléments de remplacement et permettre de procéder à l'identification et la réparation immédiates de la chaîne ou du groupe en défaut dans le but de réduire la perte de puissance produite.

19.2.8 Pouvoir de coupure assigné

Les fusibles de chaîne PV doivent avoir une tension continue assignée et posséder un pouvoir de coupure assigné supérieur ou égal au courant de défaut maximal attendu pour le système PV.

19.2.9 Tension assignée des fusibles gPV

La tension assignée U_n des fusibles gPV doit être supérieure ou égale à la tension maximale en circuit ouvert V_{OC} du générateur ou du groupe PV:

$$U_n \geq 1,2 V_{OC_STC}$$

(Le facteur 1,2 incorpore la tension en circuit ouvert à des températures ambiantes faibles allant jusqu'à -25°C . Des conditions atmosphériques plus froides peuvent exiger un facteur supérieur.)

19.2.10 Courant assigné des fusibles gPV

a) Fusibles gPV de chaînes:

Les éléments de remplacement gPV de chaînes doivent interrompre le circuit avant que la capacité de tenue aux courants inverses déclarée par le fabricant des modules ne soit dépassée. À partir de cela, la règle suivante peut être utilisée pour les éléments de remplacement gPV:

$$I_n \leq I_{MOD_REVERSE}$$

Selon l'IEC 60364-7-712, le courant assigné I_n de l'élément de remplacement de chaîne doit être égal à:

$$1,5 \times I_{SC_MOD} < I_n \leq 2,4 \times I_{SC_MOD}$$

b) Fusibles gPV de sous groupe et groupe:

Selon l'IEC 60364-7-712, le courant assigné I_n de l'élément de remplacement gPV de sous groupe et groupe doit être égal à:

$$1,25 \times I_{SC_S_ARRAY} < I_n \leq 2,4 \times I_{SC_S_ARRAY}$$

De plus, le courant nominal des câbles doit être supérieur au courant assigné de chacun des éléments de remplacement utilisés.

20 Protection des éoliennes

Les générateurs d'éoliennes comportent de nombreuses sections clés où des éléments de remplacement fournissent une protection. La tension de sortie finale des générateurs

d'éoliennes varie considérablement selon le raccordement au réseau local. La plupart des systèmes d'éoliennes utilisent une tension de 690 V c.a. comme tension de fonctionnement au sein du générateur.

Les éléments de remplacement sont utilisés à de nombreux endroits de l'installation, notamment:

- Contrôle du pas du rotor
- Contrôle de la direction de la nacelle
- Protection des semiconducteurs dans le redresseur et l'onduleur
- Protection du matériel de contrôle
- Protection des composants de liaison du transformateur de sortie ou du réseau

Le choix des éléments de remplacement pour les applications individuelles au sein de l'éolienne est traité à un autre endroit dans ce guide. Lors de l'utilisation d'éléments de remplacement dans des éoliennes, des déclassements appropriés devront être appliqués dans le cas d'exigences de températures extrêmes et/ou de vibrations pouvant se situer en dehors des plages spécifiées dans la norme. Dans de tels cas, il convient de s'adresser au fabricant de fusibles. Si le lieu de l'application est soumis à des conditions environnementales extrêmes qui dépassent celles décrites dans la norme (atmosphère très salée, par exemple), des éléments de remplacement spécifiques peuvent être exigés.

Annexe A (informative)

Coordination entre fusibles et contacteurs/démarreurs

A.1 Généralités

Le Paragraphe 13.2 du présent rapport technique fournit les indications pour sélectionner un fusible à la place (fusible alternatif) de celui qui est spécifié par le fabricant du contacteur ou du démarreur de moteur. Cette annexe donne des informations complémentaires pour sélectionner l'élément de remplacement initial.

La coordination entre les démarreurs et les fusibles qui les protègent est définie dans les normes IEC par les exigences d'essais telles que celles de la série IEC 60947, en particulier les Parties 1 et 4.

La protection contre les surintensités d'autres matériels tels que moteurs, conducteurs, etc., n'est pas traitée dans cette annexe.

A.2 Exemples d'éléments de remplacement appropriés utilisés pour la protection des moteurs

Les recommandations pour les éléments de remplacement appropriés à utiliser en association avec un contacteur/démarreur peuvent être trouvées dans les catalogues des constructeurs. Il convient que le constructeur d'un contacteur/démarreur selon l'IEC 60947-4-1 indique les caractéristiques d'un DPCC approprié sur la base des essais qu'il a effectués. Le conseil du constructeur est le meilleur guide pour un choix optimal des éléments de remplacement adaptés à sa gamme de produits.

La caractéristique du courant assigné du fusible le plus approprié pour la protection d'un moteur donné dépend du courant à pleine charge du moteur et de l'amplitude et de la durée de son courant de démarrage. La caractéristique du courant assigné la plus appropriée dépend aussi de la catégorie de l'élément de remplacement (gG, gM, aM, gN ou gD, etc.) telle qu'elle est indiquée dans les exemples donnés dans le Tableau A.1 pour des fusibles typiques utilisés dans les différents pays et associés à un démarreur direct triphasé d'un moteur ayant un courant de pleine charge de 28 A. Les exemples sont simplement indicatifs, correspondant à un temps de démarrage inférieur à 10 s, un courant de démarrage maximal ne dépassant pas sept fois le courant à pleine charge et pour des démarrages peu fréquents.

Tableau A.1 – Exemples de caractéristiques assignées d'éléments de remplacement typiques utilisés pour la protection des démarreurs montrant comment le choix du calibre optimal est lié au type d'élément de remplacement

Catégorie d'emploi des fusibles	Origine	Caractéristique assignée appropriée
gG	Fusible IEC d'usage général	63 A
gM	Fusible pour circuit moteur	32 M 63
aM	Fusible d'accompagnement moteur	32 A
gN	Fusible nord-américain	70 A
gD	Fusible nord-américain retardé	40 A
Il convient que le calibre assigné d'un élément de remplacement approprié soit aussi tel que les exigences des Articles A.4, A.5 et 13.4 soient satisfaites pour la catégorie d'emploi particulière et la caractéristique assignée choisie. Naturellement, si l'élément de remplacement est de mêmes catégorie d'emploi, caractéristiques assignées et construction, que ceux utilisés par le constructeur du contacteur/démarreur dans ses propres essais, alors toutes ces exigences seront satisfaites. Il convient de noter qu'il est important de respecter la recommandation du constructeur si elle diffère des valeurs données dans le tableau ci-dessus. NOTE 1 Les exemples sont donnés pour un moteur de 28 A dont le démarrage correspond à un service moyen.		

A.3 Valeurs de I^2t et du courant coupé limité observées lors d'essais réussis de combinaisons d'éléments de remplacement/démarreurs dans le monde

Des études conduites par le comité IEC «Fusibles» en collaboration avec des fabricants de démarreurs du monde entier ont montré qu'il n'y a pas de difficulté majeure pour obtenir une coordination satisfaisante avec des contacteurs en utilisant des fusibles sélectionnés selon l'IEC 60269-2.

L'objectif principal est d'éviter la soudure des contacts des composants de fonctionnement du démarreur (contacteurs, disjoncteurs et interrupteurs). Pour respecter cette contrainte le courant coupé limité des fusibles doit être inférieur à la valeur crête de courant de tenue supportable par les contacts. Ces informations sont visibles sur les différentes courbes caractéristiques.

Le courant de court-circuit assigné (I_{cm}), peut uniquement être déterminé par essai du contacteur, de disjoncteur ou de l'interrupteur associé avec l'élément de remplacement limiteur approprié.

Les résultats des essais de coordination, dans de nombreux pays, ont fait l'objet d'une compilation qui a permis de constater que les valeurs de I^2t et du courant coupé limité sont concentrées dans une plage relativement étroite. Ces résultats sont illustrés dans les Figures A.1, A.2 et A.3.

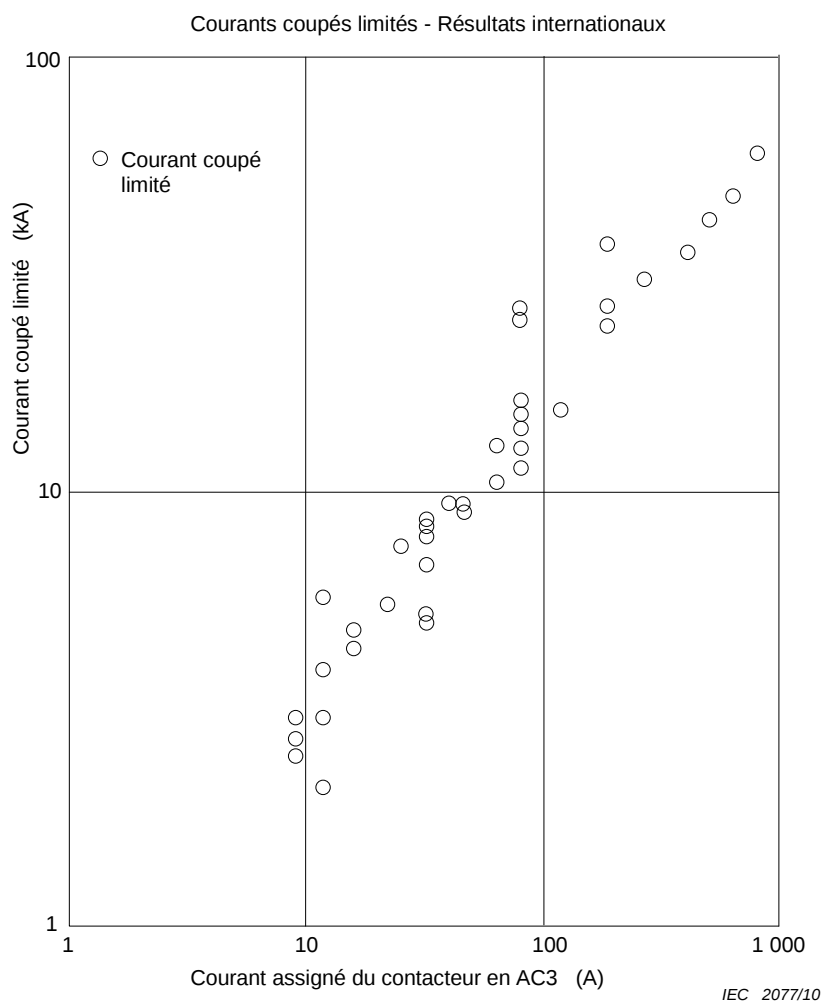


Figure A.1 – Courants coupés limités mesurés lors d’essais de coordination I_q pleinement satisfaisants

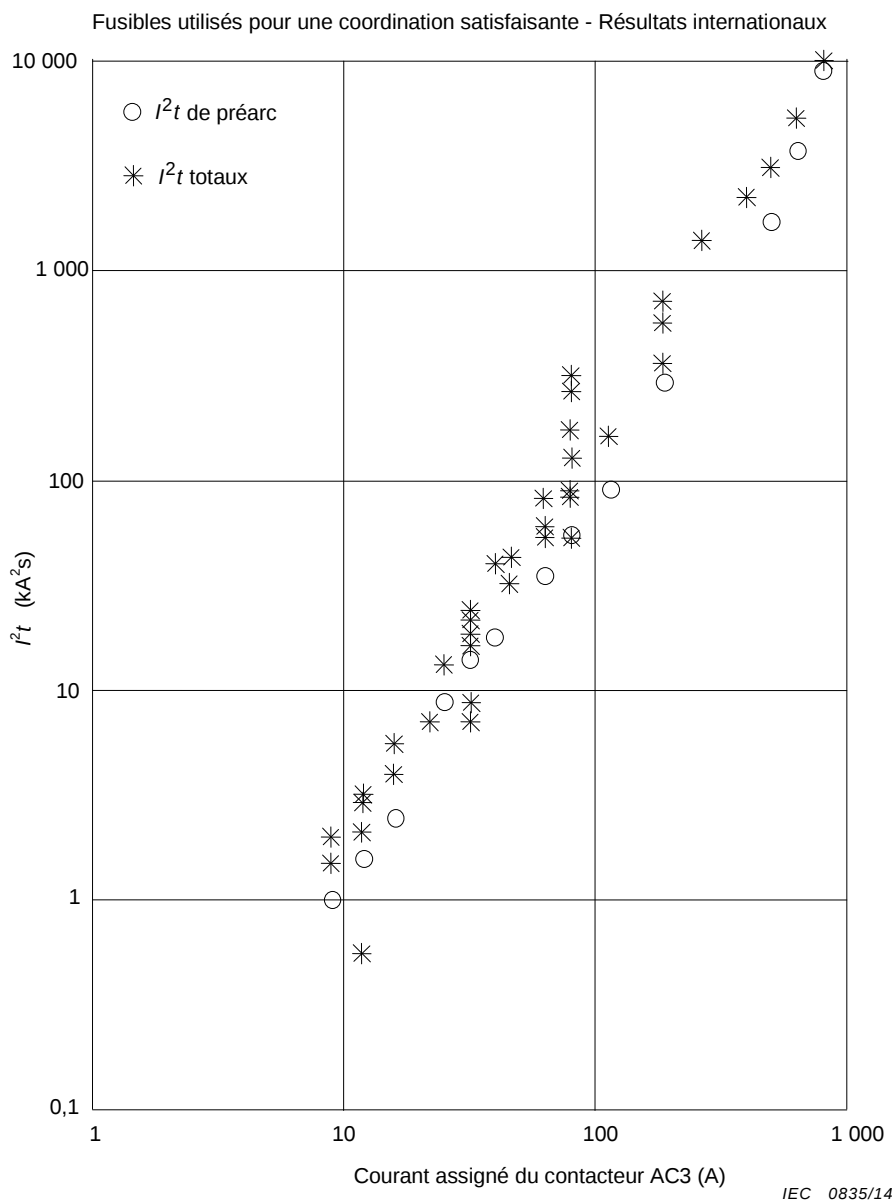


Figure A.2 – Fusibles utilisés pour une coordination pleinement satisfaisante: valeurs de I^2t totaux et I^2t de préarc en fonction du courant assigné du contacteur en AC3

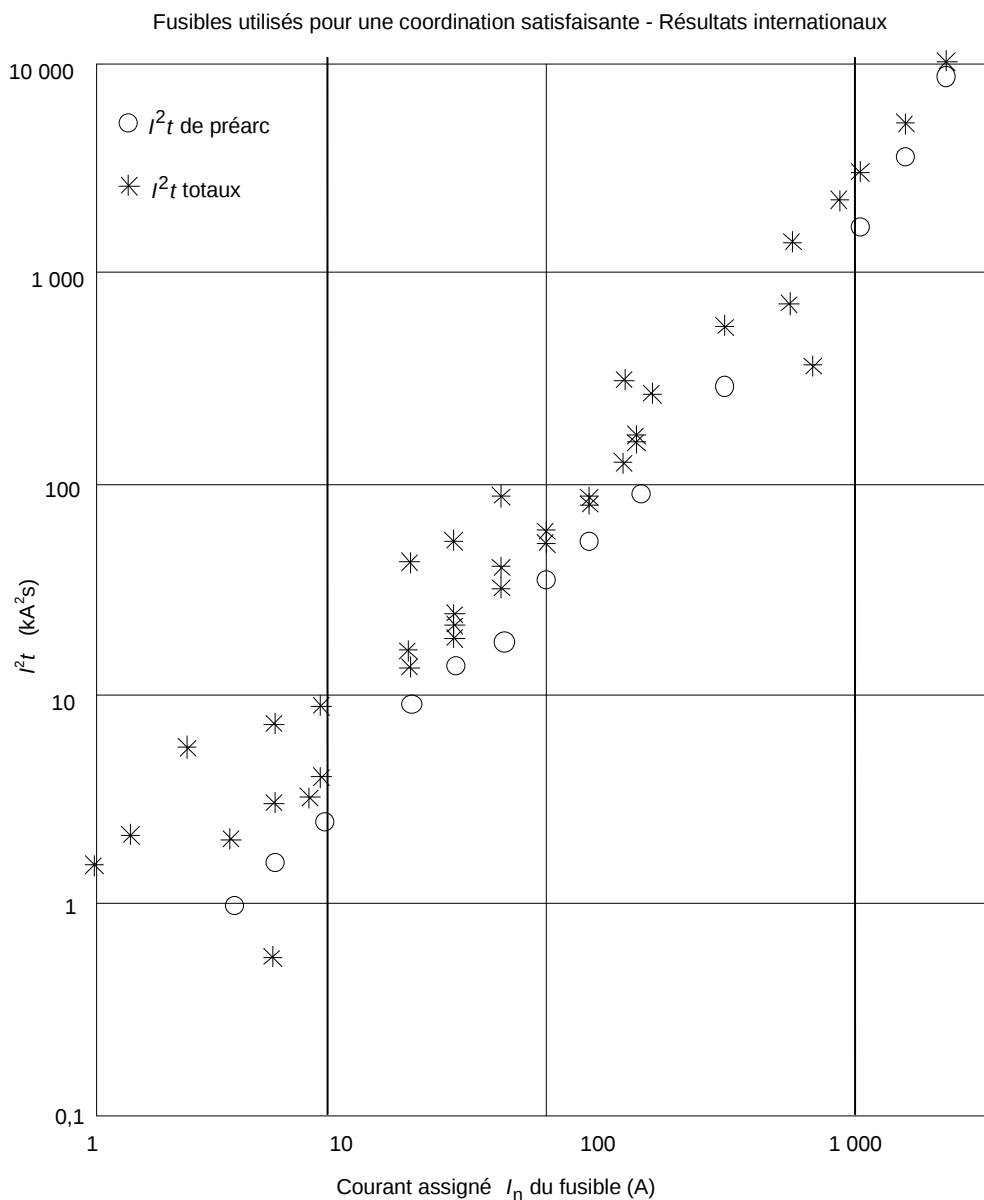


Figure A.3 – Fusibles utilisés pour une coordination pleinement satisfaisante: valeurs de I^2t totaux et de I^2t de préarc en fonction du courant assigné I_n du fusible

A.4 Critères pour la coordination au courant assigné de court-circuit conditionnel I_q

A.4.1 Généralités

L'IEC 60947-4-1:2009, 8.2.5 prescrit cet essai avec les spécifications d'essai en court-circuit données en 9.3.4. Les critères de dommage acceptable dépendent du type de coordination.

A.4.2 Valeur maximale du I^2t de fonctionnement et du courant coupé

Lorsque le DPCC utilisé est un fusible, I_q peut avoir toute valeur jusqu'à 50 kA ou plus. Dans ces conditions, les paramètres les plus importants sont les I^2t de fonctionnement total traversant l'élément de remplacement (dans les conditions d'un essai de coordination triphasé, le démarreur étant en série avec le fusible) et le courant coupé limité maximal du fusible.

Des valeurs peuvent être données pour tous les systèmes de tensions et les valeurs maximales des I^2t correspondant à une tension d'essai équivalente à des essais de coordination triphasés.

Cela va également limiter le courant coupé limité de crête, car les valeurs en dépendent. Il a été vérifié, à partir d'essais internationaux de coordination pour des courants présumés compris entre 50 kA et 200 kA, qu'à un courant présumé I_p (A), le courant coupé limité I_c (A) d'un élément de remplacement de courant assigné I_n (A) est inférieur ou égal à la valeur donnée par la formule:

$$I_C = 20 \cdot \sqrt[3]{I_n^2 \cdot I_p}$$

A.4.3 Guide pour choisir le courant assigné maximal d'un fusible utilisé en variante

A partir de résultats entièrement satisfaisants d'essais de coordination (essais de type) à I_q , le constructeur de démarreur peut tracer les courbes du I^2t maximal supporté par le contacteur et le relais de surcharges et du courant coupé limité maximal en fonction du courant assigné d'emploi (I_e) du démarreur. La Figure A.4a donne un exemple de telles courbes.

Un élément de remplacement d'une autre catégorie d'emploi ne peut être utilisé sans autre essai à moins que ses valeurs d' I^2t et de I_c soient inférieures ou égales aux valeurs maximales relevées lors des essais effectués pour établir ces courbes. Cependant, il peut être possible d'obtenir auprès des constructeurs de fusibles des valeurs d' I^2t de fonctionnement et de courants coupés limités mesurés dans des conditions comparables, (c'est-à-dire à une tension d'essai équivalente et à un courant présumé égal à I_q). Ces valeurs seront tracées en fonction du courant assigné I_n du fusible. Des courbes typiques établies à partir de telles données sont montrées pour les fusibles de type A dans la Figure A.4b et pour des fusibles de type B dans la Figure A.4c. Ces Figures auront les mêmes échelles que celles de la Figure A.4a.

Notez que sans autre essai nous ne pouvons utiliser un fusible avec des I^2t ou un courant coupé limité plus grands. Par conséquent, pour un démarreur ayant un courant d'emploi assigné $I_e = X$ ampères (A), le courant assigné maximal autorisé des fusibles de type A est indiqué comme étant Y ampères (A), (voir Figure A.4) la valeur I^2t du courant assigné Y(A) est acceptable, mais le courant coupé limité serait trop élevé. Cependant, dans le cas de remplacement de fusibles de type B, ce sont les I^2t qui constituent le facteur de limitation, et Z' (ampères) est de ce fait le courant assigné le plus élevé admissible pour réaliser par extrapolation la coordination avec le démarreur, à I_q (voir Figure A.4).

Les éléments de remplacement de types A et B pourraient être de toute catégorie d'emploi utilisée pour la protection d'un circuit moteur tels qu'ils sont listés dans le Tableau A.1.

Cette méthode peut, toutefois, conduire à un choix de fusibles de courant nominal excessivement bas, car elle ne prend pas en compte les impédances additionnelles du démarreur (par exemple, dans le cas d'une association pour laquelle le courant assigné du démarreur est inférieur à 10 A, l'impédance du relais de protection contre les surcharges peut avoir une influence importante). Dans de tels cas, si l'impédance additionnelle n'est pas prise en compte pour estimer de façon plus précise le courant de court-circuit présumé, les fusibles peuvent ne pas protéger le démarreur. Des essais directs sont alors nécessaires pour vérifier la coordination avec des fusibles de calibres plus élevés que ceux déterminés en suivant la méthode décrite dans ce rapport technique.

A.4.4 Indications complémentaires

Il convient également de considérer les points suivants:

Des valeurs élevées de temps de coupure augmentent le risque de soudure des contacts des contacteurs. Pour évaluer le «temps de coupure» pour la coordination, on considère que le courant est «coupé» quand il devient un pourcentage faible (par exemple 5 %) de sa valeur crête limitée. Cette valeur peut être difficile à obtenir, et une méthode acceptable en variante est de considérer que la courbe limitée est de forme d'onde sinusoïdale, ce qui permet de calculer un «temps de coupure équivalent» t_{eq} à partir des I^2t totaux (valeur = $[I^2t]$ en A²s) et du courant de crête traversant (valeur = $\hat{I}$ en A):

$$t_{eq} = \frac{2 \times [I^2t]}{\hat{I}^2}$$

Une valeur satisfaisante pour ce temps de coupure équivalent a été estimée à: $t_{eq} \leq 5$ ms.

NOTE 1 Le risque de soudure des contacts augmente lorsque ces courants élevés persistent 5 ms après le début du court-circuit.

Les conditions pour déterminer les I^2t totaux de fonctionnement du fusible dans un circuit triphasé sans phase à la terre peuvent être considérées comme correspondant à l'application d'une tension maximale de $\sqrt{3} \div 2$ fois la tension phase-phase.

NOTE 2 Cette technique donne les caractéristiques assignées maximales pour la coordination au courant présumé I_q . Un fusible de courant assigné plus petit peut être nécessaire pour obtenir une coordination adéquate pour les courants d'essais I_c et/ou «r». Le type de coordination est déterminé dans l'IEC 60947-4-1 par les résultats d'essai à tous ces niveaux de courant. Des précisions pour assurer une coordination appropriée à ces niveaux sont données aux Articles 13.4 et A.5.

A.5 Critères pour la coordination au courant d'essai «r»

L'IEC 60947-4-1:2009, 8.2.5 prescrit cet essai, les modalités d'essai en court-circuit étant données en 9.3.4. Les critères de dommages acceptables dépendent du type de coordination. Le courant d'essai «r» (I_r) dépend du courant assigné I_e de fonctionnement du démarreur (voir Tableau A.2).

Tableau A.2 (Tableau 12 de l'IEC 60947-4-1:2009) – Valeur du courant d'essai présumé en fonction du courant assigné d'emploi

Courant assigné d'emploi I_r (AC-3) A	Courant présumé «r» kA
$0 < I_e \leq 16$	1
$16 < I_e \leq 63$	3
$63 < I_e \leq 125$	5
$125 < I_e \leq 315$	10
$315 < I_e \leq 630$	18
$630 < I_e \leq 1\,000$	30
$1\,000 < I_e \leq 1\,600$	42
$1\,600 < I_e$	Par accord entre le constructeur et l'utilisateur

Afin de pouvoir choisir un fusible approprié pour une coordination adéquate à I_r , il est nécessaire d'établir (à partir des résultats des essais de type réussis) des courbes similaires à celles de la Figure A.4a, montrant I^2t maximal admissible du contacteur et de son relais de surcharge, et le courant coupé limité de crête maximal à I_r en fonction de I_e . Comme les valeurs de I_r augmentent par une série de «sauts», ces courbes apparaissent disjointes, et une série typique de courbes apparaîtra, similaire à la Figure A.5. Les caractéristiques assignées maximales acceptables pour une coordination adéquate à I_r pour chaque catégorie d'emploi de fusibles peuvent alors être établies par la même méthode que celle utilisée pour établir les caractéristiques assignées maximales à I_q , (en utilisant la méthode décrite en Figure A.4 pour choisir la caractéristique assignée correcte d'éléments de remplacement de type A ou de type B selon le type de coordination désiré, habituellement le type 2 (voir Article A.6)).

Les courbes de courant coupé du fusible pour ce besoin peuvent être extrapolées de celles publiées par le constructeur (pour le type A ou le type B) en utilisant la méthode présentée à la Figure A.6. Les caractéristiques qui en sont issues sont alors substituées dans les Figures A.4b et A.4c afin de faire l'évaluation à I_r , avec la Figure A.5 substituée à la Figure A.4a.

Les indications complémentaires données en A.4.4 s'appliquent également aux essais à I_r excepté pour t_{eq} dont la valeur estimée acceptable à ce niveau de courant est: $t_{eq} \leq 6$ ms.

NOTE En raison de la vitesse de montée du courant plus faible que pour I_q , les efforts électrodynamiques de séparation des contacts (et de refermeture ensuite) se produisent après un délai plus long que celui observé pour les courants I_q . Pour cette raison, la valeur de t_{eq} admissible pour les courants «r» est supérieure à celle acceptable pour les courants I_q (voir NOTE 1 de A.4.4).

A.6 Types de coordination

L'IEC 60947-4-1 traite les types 1 et 2 de la coordination entre fusibles (DPCC) et démarreurs. Les performances spécifiées sont données dans le Tableau A.3.

Tableau A.3 – Types de coordination

Exigences de fonctionnement	Type 1	Type 2
Le court-circuit est interrompu avec succès	oui	oui
Les personnes ne sont pas mises en danger	oui	oui
Les conducteurs et les bornes restent intacts et non détériorés	oui	oui
Pas de détérioration de l'isolation principale affectant les parties actives	oui	oui
Pas de détérioration du relais de surcharge ou d'autres pièces	non	oui*
Remplacement de pièces non autorisé pendant les essais (autres que les fusibles)	non	oui
Pas de changement des caractéristiques de déclenchement du relais de surcharge	non	oui
Niveau d'isolation du démarreur satisfaisant après l'essai	non	oui
* La séparation aisée des contacts soudés est autorisée		

En général, il est toujours possible de trouver un élément de remplacement apte à obtenir le type 2 de coordination (le meilleur des deux) pour un démarreur en suivant les critères donnés dans les Articles A.4, A.5 et A.6.

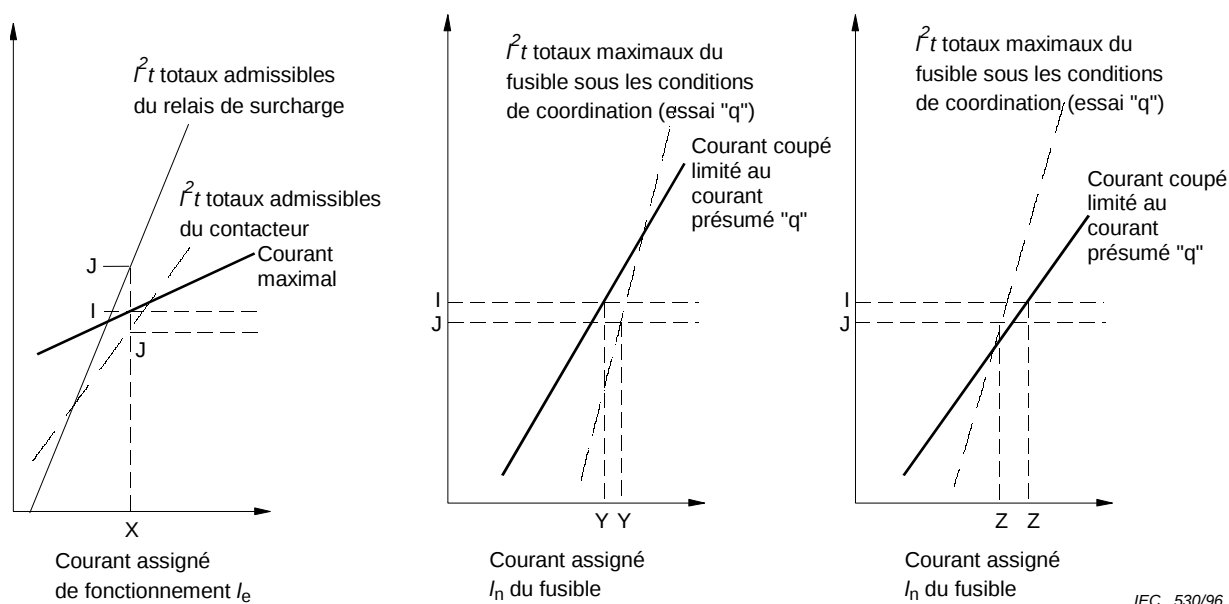


Figure A.4a – Tenue du contacteur au courant présumé «q» (déterminé par le constructeur pour sa gamme de contacteurs)

Figure A.4b – Caractéristiques I^2t et courant coupé limité pour les fusibles de type A: avec le courant coupé comme critère de limitation

Figure A.4c – Caractéristiques I^2t et courant coupé limité pour les fusibles de type B: avec I^2t comme critère de limitation

NOTE Echelles verticales: I^2t totaux en A²s et courant crête maximal, ou courant coupé limité en kA, tous tracés à la même échelle.

Figure A.4 – Exemple d'une méthode de sélection du courant assigné maximal d'un fusible de protection d'un contacteur de courant assigné $I_e = X$ ampères

Méthode: A partir de la Figure A.4a, on voit que la tenue aux I^2t d'un contacteur de courant assigné $I_e = X$ (A) est de J (A²s) tandis que celle du relais de surcharge est de J' (A²s). J' est supérieur à J . Par conséquent, la valeur la plus petite, J (A²s), est choisie. On voit que le courant de crête admissible du contacteur à $I_e = X$ (A) est de I (kA).

A droite de la Figure A.4a sont tracées les caractéristiques I^2t et de courant coupé limité mesurées au courant présumé «q» pour les fusibles de type A (Figure A.4.b) et de type B (Figure A.4.c). Ces caractéristiques sont tracées avec les mêmes échelles que celles de la Figure A.4a.

Pour les fusibles de type A, le courant coupé limité a une valeur de I (kA) pour un fusible de courant assigné Y (A), et des I^2t totaux de J (A²s) pour un fusible de courant assigné Y' (A). Le fusible ayant le plus petit de ces courants doit être choisi. Y' étant supérieur à Y , le courant assigné maximal des fusibles de type A pour assurer une protection appropriée est Y (A).

Pour les fusibles de type B, le courant coupé limité a une valeur de I (kA) pour un fusible de courant assigné Z (A), et des I^2t totaux de J (A²s) pour un fusible de courant assigné Z' (A). Le fusible ayant le plus petit de ces courants doit être choisi. Z étant supérieur à Z' , le courant assigné maximal des fusibles de type B pour assurer une protection appropriée est Z' (A).

Cette technique donne le courant assigné maximal pour la coordination à I_q . Il convient de vérifier que le fusible ayant ce courant assigné peut aussi assurer une coordination appropriée à I_{co} et I_r .

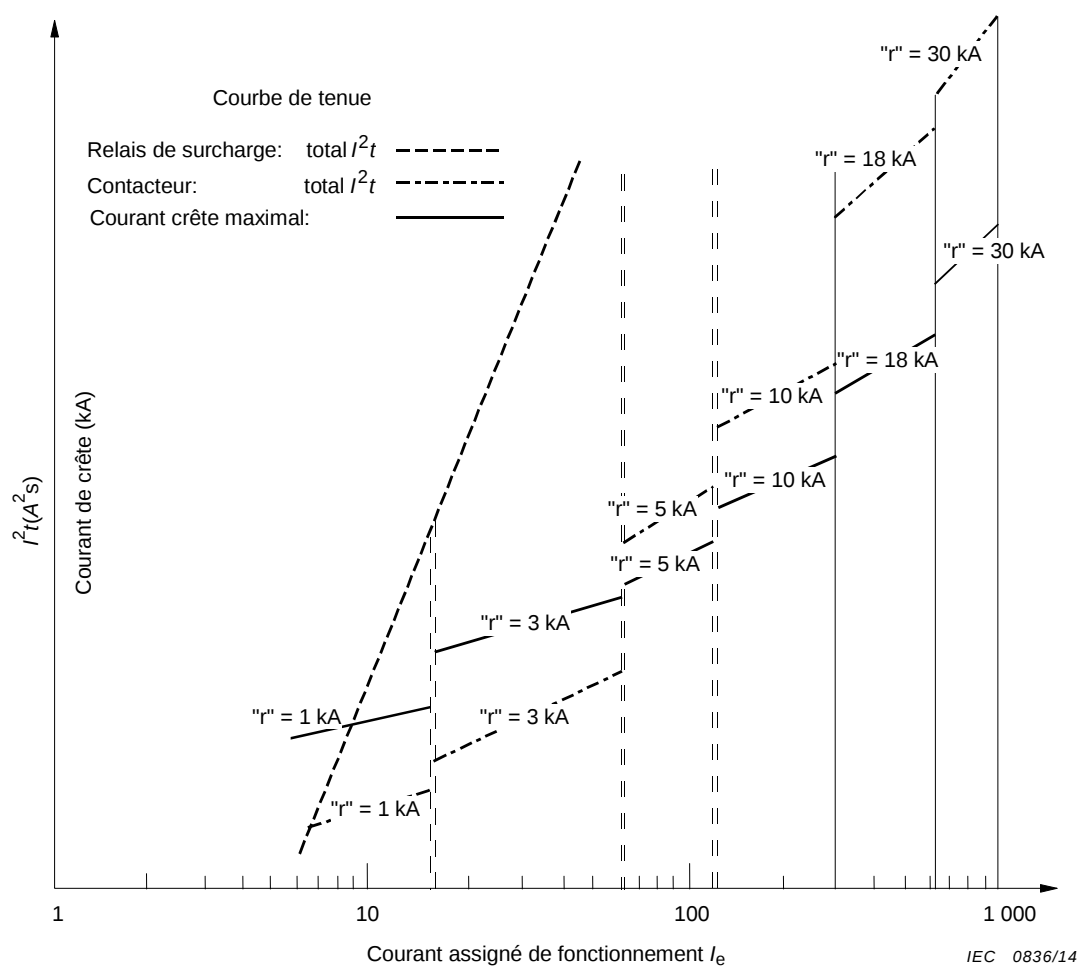
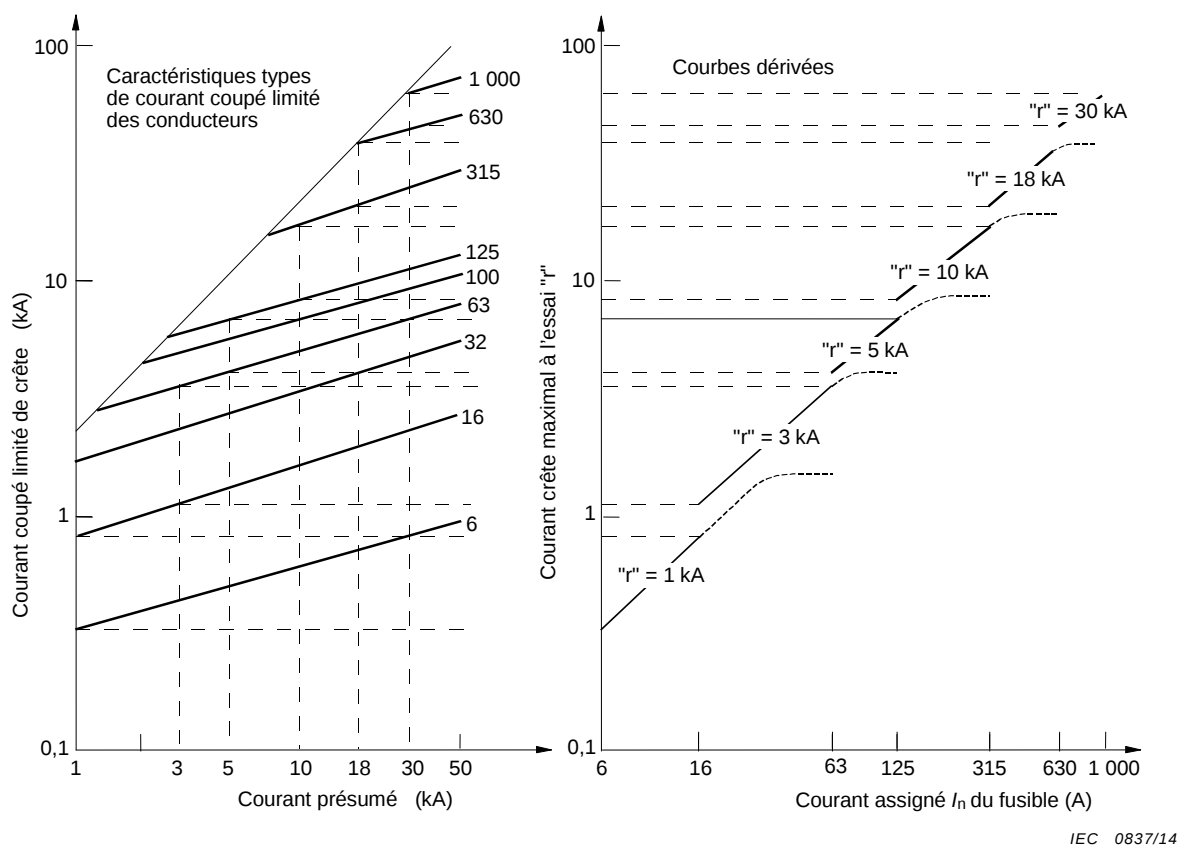


Figure A.5 – Aptitudes à la tenue au courant d'essai «r» d'une gamme de contacteurs et des relais de surcharge associés



NOTE 1 Ces valeurs sont des valeurs maximales. Les courants de crête réels pourront être inférieurs en fonction de l'impédance du contacteur et de son relais de surcharge.

NOTE 2 Les caractéristiques de courant coupé limité type sont généralement obtenues avec un facteur de puissance inférieur à celui utilisé pour le courant d'essai « r ». Une correction peut être nécessaire pour des valeurs du courant d'essai « r » de 1 kA, 3 kA ou 5 kA (dans certains cas, sous un facteur de puissance élevé, les courants coupés limités d'une valeur jusqu'à 20 % supérieure sont observés).

NOTE 3 Les courants maximaux de crête pour des caractéristiques assignées plus grandes ne peuvent excéder la crête maximale (asymétrique) du courant présumé au facteur de puissance spécifié. (Par conséquent, les courbes qui en résultent prennent une valeur constante égale à la crête maximale asymétrique.)

NOTE 4 Ces courbes dérivées peuvent être utilisées de la même façon que dans la Figure A.4.

Figure A.6 – Exemple d'une méthode de courbes dérivées du courant crête maximal au courant d'essai « r » fonction du courant assigné du fusible

Bibliographie

IEC 60050-441:1984, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 441: Appareillage et fusibles*

IEC 60050-442, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 442: Petit appareillage*

IEC 60050-448, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 448: Protection des réseaux d'énergie*

IEC/TR 61912-2, *Low-voltage switchgear and controlgear – Over-current protective devices – Part 2: Selectivity under over-current conditions* (disponible en anglais seulement)

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