

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

High-voltage fuses for the external protection of shunt capacitors

Coupe-circuit à fusibles haute tension destinés à la protection externe des condensateurs shunt





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
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.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 on-line 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 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

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 la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI 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.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. 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 au monde 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 les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

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.



IEC 60549

Edition 2.0 2013-04

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

High-voltage fuses for the external protection of shunt capacitors

Coupe-circuit à fusibles haute tension destinés à la protection externe des condensateurs shunt

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

P

ICS 29.120.50

ISBN 978-2-83220-743-7

**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.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
4 Performance requirements	7
4.1 General.....	7
4.2 Breaking requirements	7
4.2.1 Rated maximum capacitive breaking current.....	7
4.2.2 Rated capacitor discharge energy.....	7
5 Type tests	8
5.1 General.....	8
5.2 Test practices.....	8
5.3 Power frequency inductive current tests	8
5.4 Capacitive breaking current tests	9
5.4.1 Description of tests to be made	9
5.4.2 Test circuits.....	9
5.4.3 Arrangement of the equipment.....	10
5.4.4 Test procedure	11
5.4.5 Parameters to be used for tests.....	12
5.4.6 Test I_t for fuse-links that exhibit take-over current(s)	12
5.5 Capacitor Discharge breaking tests	13
5.5.1 General	13
5.5.2 Test circuit.....	13
5.5.3 Test procedure	14
5.6 Standard conditions of behaviour with respect to breaking tests	14
6 Information to be given to the user	14
7 Application information	14
7.1 Operating voltages	14
7.2 Rated voltage	15
7.3 Rated current	15
Bibliography.....	16
Figure 1 – Test circuit for test duty A	11
Figure 2 – Test circuit for test duty B	11
Table 1 – Type tests required	8
Table 2 – Capacitive current breaking tests	12

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HIGH-VOLTAGE FUSES FOR THE EXTERNAL
PROTECTION OF SHUNT CAPACITORS**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60549 has been prepared by subcommittee 32A: High voltage fuses, of IEC technical committee 32: Fuses.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1976. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) alignment of the document with current IEC document structure requirements;
- b) clarification of certain test requirements.

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

CDV	Report on voting
32A/294/CDV	32A/298/RVC

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

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

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.

HIGH-VOLTAGE FUSES FOR THE EXTERNAL PROTECTION OF SHUNT CAPACITORS

1 Scope

This standard applies to external fuses used with high-voltage capacitors according to IEC 60871-1, Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V – Part 1: General. IEC 60871-1 is applicable to both capacitor units and capacitor banks intended to be used, particularly, for power-factor correction of a.c. power systems, and also to capacitors intended for use in power filter circuits.

Fuses according to this standard are intended to clear either faults inside a capacitor unit to permit continued operation of the remaining parts of the bank in which the unit is connected (unit fuses) or faults on the whole capacitor bank to isolate the bank from the system (line fuses).

In this standard the terms “capacitive current” and “inductive current” are used to indicate test currents that have a leading or lagging power factor, respectively, and in which the circuit contains predominantly capacitive or inductive components. The word “capacitor” is used when it is not necessary to lay particular stress upon the different meanings of the word “capacitor unit” or “capacitor bank”.

In some cases, fuses tested only to IEC 60282-1 or IEC 60282-2 may be suitable for use with capacitors if they are not required to interrupt capacitive currents (e.g. if capacitive currents cannot flow, or if they are acting as a “back-up”, to provide high inductive current breaking, to other devices that will clear capacitive currents).

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 60282-1:2009, *High-voltage fuses – Part 1: Current-limiting fuses*

IEC 60282-2, *High-voltage Fuses – Part 2: Expulsion Fuses*

IEC 60871-1, *Shunt capacitors for ac power systems having a rated voltage above 1 000 V – Part 1: General*

3 Terms and definitions

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

3.1

(capacitor) element

a device consisting essentially of two electrodes separated by a dielectric

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-03]

3.2

(capacitor) unit

an assembly of one or more capacitor elements in the same container with terminals brought out

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-04]

3.3

(capacitor) bank

a number of capacitor units connected so as to act together

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-06]

3.4

unit fuse

fuse intended to be used for the protection of a capacitor unit which forms a part of a capacitor bank

3.5

line fuse

fuse intended to be used for the overall protection of a capacitor connected to a given point of a system

3.6

rated voltage of a capacitor

U_r

the r.m.s. value of the alternating voltage for which the capacitor has been designed

Note 1 to entry: In the case of capacitors consisting of one or more separate circuits (for example single phase units intended for use in polyphase connection, or polyphase units with separate circuits), U_r refers to the rated voltage of each circuit.

Note 2 to entry: For polyphase capacitors with internal electrical connections between phases, and for polyphase capacitor banks, U_r refers to the phase-to-phase voltage.

[SOURCE: IEC 60050-436:1990, 436-01-15, modified by addition of symbol and notes to entry]

3.7

refill unit

a set of replacement parts sufficient to restore a fuse-link to its original condition after an operation

[SOURCE: IEC 60050-441:2007, 441-18-15]

3.8

capacitive breaking current

current for which the specified conditions of use and behaviour include the opening of the circuit that includes capacitor elements and/or capacitor units in series with the fuse

3.9

rated maximum capacitive breaking current

maximum capacitive breaking current that the fuse shall be capable of breaking under the conditions of use and behaviour prescribed in this standard

3.10

rated capacitor discharge energy

Joule rating

stored energy in a capacitor that a fuse has been shown to be capable of withstanding during a capacitor discharge breaking test

4 Performance requirements

4.1 General

These fuses are not a substitute for a mechanical switching device, but when forming a part of a mechanical switching device such as a fused switch or a fused disconnect, they shall comply with this standard.

When fuses are used for the external protection of a capacitor unit or a capacitor bank (line fuses), their voltages and breaking ratings shall be adequate for the system.

Fuses according to this standard shall comply with the requirements of IEC 60282-1 or IEC 60282-2, except those which are specifically excluded in this standard.

The fuse is connected in series with the unit(s) that the fuse is intended to isolate if the unit(s) become(s) faulty. The range in currents and voltages for the fuse is therefore dependent on the characteristics of the capacitor and the bank in which the fuse is connected as well as the parameters of the supply circuit.

The operation of an external fuse is, in general, determined by the following two factors:

- a) the power-frequency fault current resulting from either a partial or complete capacitor failure;
- b) the discharge energy from any units in parallel with the fault.

However, this standard gives a method of separate checking of these factors.

These requirements are valid for capacitors switched by a switching device with a very low probability of restrike during interruption. If this is not the case, other requirements are to be agreed upon.

As used in this standard, U_r is the rated voltage of the capacitor unit and U_{rf} is the rated voltage of the capacitor fuse.

4.2 Breaking requirements

4.2.1 Rated maximum capacitive breaking current

The preferred rated maximum capacitive breaking currents for capacitor fuses are 1 kA r.m.s., 2,5 kA r.m.s., 3,15 kA r.m.s., 4 kA r.m.s., and 5 kA r.m.s.. Other values shall be the subject of an agreement between manufacturer and user.

4.2.2 Rated capacitor discharge energy

A rated capacitor discharge energy (joule rating) is assigned to a fuse based on the energy stored in a capacitor test bank prior to the time it is discharged through the fuse in the capacitor discharge breaking tests (5.5). Values should be selected from R10 series with a minimum of 10 kJ. The preferred value for current-limiting fuses is 40 kJ. To assign an "unlimited" rated capacitor discharge energy see 5.5.2.

The preferred frequency for the capacitor discharge breaking tests of 5.5 is:

$$f = 0,8 U_{rf}$$

Where f is in hertz and U_{rf} is the rated voltage of the fuse, in volts.

5 Type tests

5.1 General

To comply with this standard, fuses shall be subjected to the tests specified in Table 1.

For fuses belonging to a homogeneous series as defined in IEC 60282-1 and IEC 60282-2, it is allowed that tests made on a reduced number of current ratings shall be valid for the other current ratings. Detailed information is given in 5.4.1 and 5.5.1.

Table 1 – Type tests required

Tests	Line fuses	Unit fuses	
		Where inductive currents are likely ^a	Where inductive currents are not likely ^b
Power-frequency Inductive currents (5.3)	X	X	—
Power-frequency Capacitive currents ^c (5.4)	X	X	X
Capacitive-discharge (5.5)	— ^d	X	X
^a Examples of such applications are – unit fuses in delta-connected banks without units in series; – unit fuses in star-connected banks without units in series and with earthed neutral. – unit fuses without capacitor units in series, used on single phase circuits ^b Examples of such applications are: – unit fuses in star-connected banks with unearthed neutral; – banks where capacitor units are used in series. ^c These tests are not required for fuses where capacitive limited currents are not likely to flow. Examples of such cases are capacitors having only a single internal group of elements, connected in delta or grounded star without capacitor units in series. ^d Unusual applications, such as back-to-back banks on the same pole with each bank having its own line fuse could require the fuse to be capable of interrupting capacitive discharge currents. Since the size of these banks would generally be small, most line fuses could satisfactorily handle the discharge currents. Consult the fuse manufacturer for these types of applications.			

5.2 Test practices

The fuse shall be new, clean and in good condition.

The fuse-link shall be tested in a fuse-base or directly mounted as specified by the manufacturer of the fuse-link.

In making tests of a test duty within a series of renewable fuse-links, only the fuse-elements, refill units and parts normally replaceable shall be replaced. A new fuse-carrier shall be used for tests of the other test duty.

5.3 Power frequency inductive current tests

These tests shall comprise the following: Test duties 1 and 2 according to IEC 60282-1 or Test duties 1, 2, 3 and 4 according to IEC 60282-2.

For the inductive current interrupting tests for capacitor unit fuses, a capacitor shall be placed in parallel with the fuse under test. This parallel capacitor shall be sized to draw a current at the test voltage of between 25 % and 75 % of the rated current of the fuse under test. The transient recovery voltage requirements of IEC 60282-1 do not apply to the tests on capacitor unit fuses when parallel capacitors are used in the test circuit.

Capacitor unit fuses that have met the interrupting requirements when tested without parallel capacitors need not be retested with parallel capacitors in the test circuit.

5.4 Capacitive breaking current tests

5.4.1 Description of tests to be made

For both current-limiting fuses and expulsion fuses belonging to a homogeneous series as defined in IEC 60282-1 and IEC 60282-2, tests shall be made on the fuse-links with the highest current rating. For expulsion fuses, test duty A shall also be made on the fuse-links with the lowest current rating of the series. A 6,3 A type K link (or the equivalent) may be used for the lowest current rating requirement.

These tests are intended to prove the ability of the fuse to break capacitive currents and shall include two test duties.

- *Test duty A*: verification of the rated maximum capacitive breaking current (see 4.2.2).
- *Test duty B*: verification of the operation with a current value resulting in a pre-arcing time of 10 s or more.

The test circuits specified in 5.4.2 and the parameters specified in 5.4.5 have been so chosen as to reproduce as closely as possible the duty which the fuses experience in actual applications.

When applied as capacitor fuses, the mode of failure of the capacitor units determines the magnitude and nature (capacitive or inductive) of the current that the fuse must break. Test duty A simulates the condition where the fuse breaks high capacitive current due to significant capacitor failure. For progressive element failure in the capacitor unit, the current increases until it reaches a magnitude that will just cause operation of the fuse. Test duty B simulates this condition.

5.4.2 Test circuits

5.4.2.1 General

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

The source impedance shall be such that the variation in the source voltage caused by switching the capacitive load current shall not exceed 10 % (i.e. in Figures 1 and 2, $U_{sc}/U_{s0} \leq 1,1$). The power factor of the source circuit shall not exceed 0,15 lagging and its capacitance shall be as low as possible.

The waveform of the current to be broken should, as nearly as possible, be sinusoidal. This condition is considered to be complied with if the ratio of the r.m.s. value of the current to the r.m.s. value of the fundamental component does not exceed 1,2.

The current to be broken shall not pass through zero more than once per half-cycle.

5.4.2.2 Unit fuses

For test duty A, the load circuit shall be as shown in Figure 1.

Operation of the fuse is initiated by closing the switch S2 in series with the fuse, in order to simulate the total failure of a capacitor unit protected by the fuse.

C_T represents the capacitance in the bank that limits the fault current and C_P represents the capacitors which are in parallel with the failed unit. The value of C_P in microfarads shall be $C_P \geq 1\,000 / U_{rf}^2$, U_{rf} being expressed in kilovolts.

NOTE 1 In order to achieve the specified recovery voltage in Table 2, the open circuit source voltage U_{SO} has to be of a higher value. It may be determined by considering the ratio of the capacitances, approximately $U_{SO} = (C_T + C_P)/C_T \times U_{rf}$.

For test duty B the load circuit shall be as shown in Figure 2.

Operation of the fuse is initiated by opening the switch S in parallel with the fuse.

C_T represents the remaining healthy elements of the capacitor unit and C_P represents the other units in the bank which are in parallel with the failed unit. The value of C_P in microfarads shall be $C_P \geq 1\,000 / U_{rf}^2$, U_{rf} being expressed in kilovolts.

NOTE 2 In both circuits, the effect of capacitance on the recovery voltage appearing across the fuse when it operates is taken into account by C_P . The minimum value specified represents between 300 kVAr and 400 kVAr (depending on frequency), i.e. the size of the smallest capacitor bank on which individual fuses would normally be applied. Experience has shown that the value of C_P is not critical in its effect on the capacitive current-breaking performance of fuses, and therefore only a minimum value is specified.

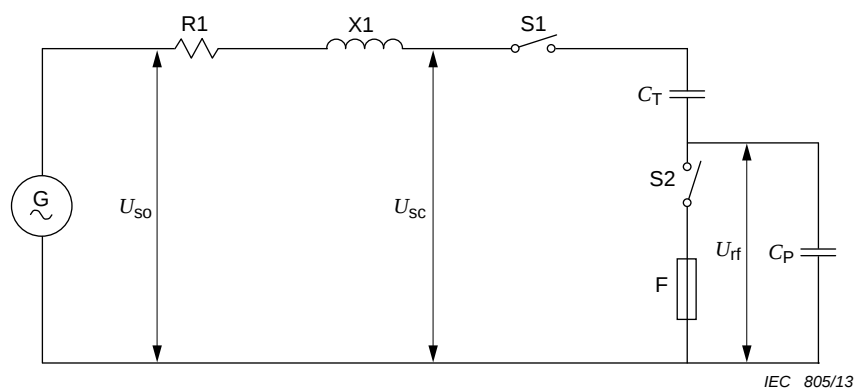
5.4.2.3 Line fuses

For test duties A and B on line fuses, the load circuit shall be as shown in Figure 1, except that capacitance C_P shall be omitted.

5.4.3 Arrangement of the equipment

Expulsion and current-limiting fuses that automatically provide an isolating gap after operation shall be mounted as they will be in a capacitor bank. An energized fuse shall be placed on each side of the fuse under test to determine adequately that any expulsion of gas or reduction of clearance does not cause flashovers which might initiate operation of the adjacent fuses. The spacing between fuses shall be recorded.

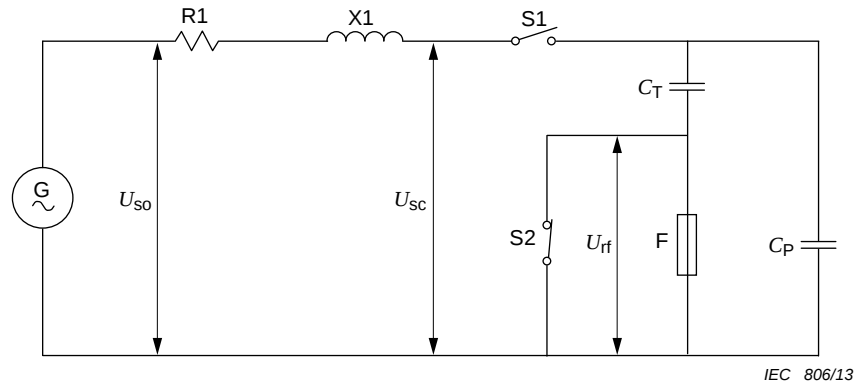
Other current-limiting fuses may be mounted in any convenient manner.



Key

R1	Source resistance	S2	Switch to initiate fuse melting
X1	Source reactance	F	Fuse under test
S1	Laboratory closing switch	U_{SO}	Source voltage (open circuit)
C_T	Capacitors to produce the test current	U_{SC}	Source voltage with capacitive test current
C_P	Capacitors corresponding to the capacitors in parallel with the failed unit	U_{rf}	Fuse recovery voltage

Figure 1 – Test circuit for test duty A



Key

R1	Source resistance	S2	Switch to initiate fuse melting
X1	Source reactance	F	Fuse under test
S1	Laboratory closing switch	U_{SO}	Source voltage (open circuit)
C_T	Capacitors to produce the test current	U_{SC}	Source voltage with capacitive test current
C_P	Capacitors corresponding to the capacitors in parallel with the failed unit	U_{rf}	Fuse recovery voltage

Figure 2 – Test circuit for test duty B

5.4.4 Test procedure

The test procedure to obtain the specified prospective current shall be that specified for the breaking tests in IEC 60282-1 or IEC 60282-2.

5.4.5 Parameters to be used for tests

The parameters to be used when making the tests are given in Table 2.

Table 2 – Capacitive current breaking tests

Parameters		Test duty A	Test duty B
Power-frequency recovery voltage (i.e. excluding d.c. voltage component)		1,0 $U_{rf}^{+5}_0\%$	1,0 $U_{rf}^{+5}_0\%$
Source power factor (lagging)		≤0,15	
Total circuit power factor (leading)		≤0,15	
Prospective current		Rated maximum capacitive breaking current	Current value resulting in a pre-arcing time of 10 s or more ^b
Making angle after voltage zero		From 0 ° to 20 ° ^a	Random timing
Number of tests		3	2
Duration of power frequency recovery voltage after interruption	Dropout and isolating gap fuses	Not less than the dropout time or 0,5 s, whichever is greater	
	Fuses that do not provide an isolating gap after operation	Not less than 60 s	

^a This produces the most severe condition for the fuse since closing the circuit near voltage zero minimizes discharge current from the parallel capacitance and its effect on the pre-arcing time of the fuse.

^b If the fuse being tested is a Back-Up fuse, to be used in series with another device intended to break low currents, the current may be chosen to give a shorter melting time. For fuses intended for applications in which melting times can be long (e.g. using Full-Range fuses) it may be necessary to test with currents that produce longer melting times.

5.4.6 Test I_t for fuse-links that exhibit take-over current(s)

In the case of fuses that incorporate different arc-quenching mechanisms within the same envelope (for example, current-limiting elements and expulsion elements in series) or for “combination” fuses that have an expulsion fuse permanently connected to a current-limiting fuse, Test Duty A and B above shall be augmented by additional tests to prove correct operation in the region(s) of current I_t where the capacitive breaking duty is transferred from one arc-quenching mechanism to another. Since fuse designs differ widely, specifying precise test requirements, applicable to all designs, is not possible. It is the responsibility of the fuse manufacturer to confirm by the I_t breaking test that the breaking mechanisms are operating correctly to effect proper current interruption within the transitional current region. Typical criteria used in assessing compliance with this requirement are discussed in Annex G of IEC 60282-1:2009 “Criteria for determining I_t testing validity”.

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

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

and

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

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

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

The parameters to be used when making the tests are given in Table 2, test duty B.

NOTE When a capacitor fuse requires several loops of arcing to break the current, in effect the capacitor is being switched. This can result in a significant increase in current through the capacitor and fuse. Therefore for a particular fuse, the value(s) for I_t in a capacitive circuit may be significantly lower than the value(s) for I_t in an inductive circuit.

5.5 Capacitor Discharge breaking tests

5.5.1 General

These tests are made to verify the energy which the fuse can withstand without bursting.

A calibration test shall be made by replacing the fuse-link under test by a link of negligible impedance compared with that of the test circuit. This test may be made with a reduced voltage

The circuit shall be adjusted to give the specified capacitor discharge energy, oscillatory frequency and decrement. This shall be verified by an oscillographic record. The ratio between successive peaks shall be from 0,8 to 0,95 for the discharge breaking tests.

Tests shall be made on new fuses with the amounts of energy specified by the manufacturer.

For current-limiting fuses belonging to a homogeneous series as defined in IEC 60282-1, tests shall be made on the fuse-link with the highest current rating.

For expulsion type fuses, the tests shall be made on all fuse types where the bore of the fuse tube and/or its length changes, and on any fuses where the materials of the fuse tube are different from other tested devices. For fuses that use replaceable links, the tests shall be made with the smallest and the largest link that is intended to be used in the particular fuse holder and for the specified capacitor discharge energy. The link size used in a fuse holder is a function of the capacitor with which it is to be used, and the capacitor discharge energy requirement is related to the number and size of connected parallel capacitors. However, no link smaller than a 6,3 A type K link (or the equivalent) need be used for the minimum size requirement.

5.5.2 Test circuit

Tests shall be made with a capacitor, the capacitance of which is such that the stored energy has the specified value at the test voltage specified below. This capacitor shall be charged by means of d.c. to one of the following voltages:

- $2,0 U_{rf} \sqrt{2}$ (+0 %, -10 %) for current-limiting fuses.
- $1,0 U_{rf} \sqrt{2}$ (+10 %, -0 %) for expulsion fuses unless otherwise specified.

The capacitor shall be discharged through the fuse under test in a circuit having a frequency as close as possible to the preferred value given in 4.2.2 in which the oscillatory frequency is:

$$f = 0,8 U_{rf} (+20 \%, -0 \%)$$

where f is in hertz and U_{rf} is the voltage rating of the fuse in volts.

The actual discharge frequency measured during the tests shall be recorded along with the maximum stored energy (joules) rating in the test report. The "joule rating" that may be assigned to the fuse being tested is the energy stored in the capacitor test bank prior to the time it is discharged through the fuse. If an unlimited "joule rating" is claimed for a current-limiting fuse, then the charge voltage may be increased such that at the instant of interruption, the voltage remaining on the bank shall not be less than $1,80 U_{rf} \sqrt{2}$ (the minimum charging voltage for a limited joule rating).

5.5.3 Test procedure

Two tests shall be made. For expulsion fuses, the second test shall be made on a completely new fuse.

For fuses that do not introduce a visible air gap in the circuit upon operation, the residual voltage of the capacitor shall remain on the fuse for 10 min after operation. This requires the capacitor used for the test to be without discharge resistance.

For other fuses, no requirements concerning the maintained voltage are specified.

For current-limiting fuses, the residual voltage across the capacitor shall be measured immediately after the discharge to determine the amount of energy dissipated in the fuse-link. The residual voltage shall be recorded in the test report.

5.6 Standard conditions of behaviour with respect to breaking tests

- a) Flashover to earth or to adjacent capacitor units shall not occur. A current-limiting fuse-link shall not emit flame or powder, although a minor emission of flame from a striker or indicating device is permissible, provided this does not cause breakdown or significant leakage current to earth.
- b) After the fuse has operated, the components of the fuse, apart from those intended to be replaced after each operation, shall be in substantially the same condition as at the beginning of the test except for the erosion of the bore of the fuse tube of expulsion fuses.

For current-limiting fuses, it shall be possible to remove the fuse-link in one piece after the operation.

However, after the discharge breaking test, the components of the fuse maybe damaged and require replacement to restore the fuse to operating condition.

6 Information to be given to the user

- rated voltage of the fuse;
- current rating of the fuse-link or refill unit; in addition, the maximum continuous current capability may also be specified;
- current rating of the fuse-base or fuse-carrier contacts;
- time-current characteristics as specified in IEC 60282-1 or IEC 60282-2 for an ambient air temperature of 20 °C;

NOTE Information should be available on request concerning ambient air temperatures in the range -40 °C to +75 °C.

- rated maximum capacitive breaking current, where appropriate (see Table 1);
- rated maximum breaking current (inductive), where appropriate (see Table 1);
- maximum available capacitor energy which the fuse can withstand at the voltages specified in 5.5.2 without bursting;
- the frequency achieved during the capacitor discharge breaking tests;
- minimum pre-arcing I^2t (under substantially adiabatic conditions) and maximum operating I^2t at inductive and capacitive power-frequency currents;
- external creepage distance along the fuse-link (for other than fuses which automatically provide an isolating gap after operation).

7 Application information

7.1 Operating voltages

Test voltages and methods are chosen based on the following requirements. The fuse should isolate the faulty unit(s) with a minimum disturbance to the system and to the capacitor unit

involved under maximum prevailing system conditions occurring at the time of the fault and at the following voltages:

- a) Under transient current conditions, e.g. during energisation, the higher limit of the transient voltage between terminals of the unit is $2,0 U_r \sqrt{2}$, where U_r is the rated voltage of the unit. After operation, the fuse has to be capable of withstanding the above transient voltage.
- b) When the fuse is subjected to power-frequency capacitive currents, it is required to operate against a voltage of $1,1 U_r$ and then withstand this voltage plus any d.c. voltage component resulting from any capacitive charge remaining after the operation of the fuse.

7.2 Rated voltage

Traditional application advice has been to specify a fuse rated voltage at least 10 % higher than the rated voltage U_r of the capacitor unit. This is based on the fact that it is permissible to operate capacitors at 110 % of their rated voltage for as much as 12 hours in every 24 hour period (IEC 60871-1). Consequently, capacitor overvoltage protection is often set at 10 % above rated voltage, so fuses may have to operate at this voltage. However, if system protection does not limit the voltage to this level, a fuse should be chosen to have a rated voltage at least as high as the highest anticipated service voltage, including overvoltages that may be produced by capacitive fault currents or bank unbalance. When a fuse is tested to IEC 60549, the capacitive test current may produce a rise in source voltage of up to 10 % (5.4.2.1). However it cannot be assumed that a particular fuse design has been tested at this 10 % maximum, as the actual rise is dependent on the source impedance and the value of the test current. Therefore, it should not be assumed that a fuse has a capability any higher than its rated voltage (which is equal to the power frequency recovery voltage during testing).

7.3 Rated current

The rated current of the fuse shall be at least 1,43 times the rated current I_n of the capacitor.

NOTE 1 In principle, the continuous current does not exceed 1,3 times I_n , but as the capacitance may reach 1,1 times the value corresponding to the rated output, the current may have a maximum value of $1,3 \times 1,1 = 1,43$ times the rated current.

NOTE 2 When the air temperature at the fuse location exceeds 40 °C, it is recommended to consult the manufacturer.

NOTE 3 For certain types of fuse-links having an overload capability, it is recommended to take this property into consideration.

Bibliography

- [1] IEC 60050-436:1990, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 436: Power capacitors*
 - [2] IEC 60050-441:1984, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	19
1 Domaine d'application	21
2 Références normatives	21
3 Termes et définitions	21
4 Exigences des performances	23
4.1 Généralités	23
4.2 Exigences de coupure	23
4.2.1 Courant de coupure capacitif maximal assigné	23
4.2.2 Énergie de décharge du condensateur assignée	23
5 Essais de type	24
5.1 Généralités	24
5.2 Règles d'essais	24
5.3 Essais de courants inductifs à fréquence industrielle	25
5.4 Essais de courant de coupure capacitif	25
5.4.1 Description des essais à effectuer	25
5.4.2 Circuits d'essais	25
5.4.3 Disposition de l'appareil	26
5.4.4 Procédure d'essai	27
5.4.5 Paramètres à utiliser pour les essais	27
5.4.6 Essai I_t pour les éléments de remplacement présentant des courants d'intersection	28
5.5 Essais de coupure sur décharge du condensateur	29
5.5.1 Généralités	29
5.5.2 Circuits d'essais	29
5.5.3 Procédure d'essai	30
5.6 Conditions normales de fonctionnement en ce qui concerne les essais de coupure	30
6 Renseignements à donner à l'utilisateur	30
7 Informations d'application	31
7.1 Tensions de fonctionnement	31
7.2 Tension assignée	31
7.3 Courant assigné	31
Bibliographie	32
Figure 1 – Circuit d'essai pour la suite d'essais A	27
Figure 2 – Circuit d'essai pour la suite d'essais B	27
Tableau 1 – Essais de type exigés	24
Tableau 2 – Essais de courant de coupure capacitif	28

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COUPE-CIRCUIT À FUSIBLES HAUTE TENSION DESTINÉS À LA PROTECTION EXTERNE DES CONDENSATEURS SHUNT

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60549 a été établie par le sous-comité 32A: Coupe-circuit à fusibles à haute tension, du Comité d'études n°32 de la CEI: Coupe-circuit à fusibles.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1976. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) alignement du présent document avec les exigences actuelles relatives à la structure des documents CEI;
- b) clarification de certaines exigences d'essai.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
32A/294/CDV	32A/298/RVC

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

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

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 la CEI 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.

COUPE-CIRCUIT À FUSIBLES HAUTE TENSION DESTINÉS À LA PROTECTION EXTERNE DES CONDENSATEURS SHUNT

1 Domaine d'application

Cette norme s'applique aux fusibles externes utilisés avec des condensateurs à haute tension, selon la CEI 608711: Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V - Partie 1: Généralités. La CEI 608711 s'applique autant aux unités qu'aux batteries de condensateurs destinées notamment à être utilisées pour la correction du facteur de puissance de réseaux à courant alternatif, ainsi qu'aux condensateurs utilisés dans les circuits de filtres de puissance.

Les fusibles répondant à la présente norme sont destinés à éliminer les défauts concernant une unité, afin de permettre aux autres parties de la batterie connectées à cette unité de continuer à fonctionner (fusibles d'unité), ou les défauts concernant une batterie dans son ensemble afin de l'isoler du réseau (fusibles de ligne).

Dans la présente norme, les termes "courant capacitif" et "courant inductif" sont utilisés pour indiquer les courants d'essai ayant respectivement un facteur de puissance en avance ou en retard, et dans lesquels le circuit contient en majorité des composants capacitifs ou inductifs. Le terme "condensateur" est employé lorsqu'il n'est pas nécessaire de préciser s'il s'agit d'un "condensateur unitaire" ou d'une "batterie de condensateur".

Dans certains cas, les fusibles soumis à essai uniquement selon la CEI 60282-1 ou la CEI 60282-2 peuvent convenir à une utilisation avec des condensateurs s'ils ne doivent pas interrompre des courant capacitifs (ex.: si les courants capacitifs ne peuvent circuler, ou s'ils servent de courant de compensation, pour permettre la coupure de courants hautement inductifs, vers d'autres dispositifs qui éliminent les courants capacitifs).

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).

CEI 60282-1:2009, *Fusibles haute tension – Partie 1: Fusibles limiteurs de courant*

CEI 60282-2, *Fusibles haute tension – Partie 2: Coupe-circuit à expulsion*

CEI 60871-1, *Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V – Partie 1: Généralités*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1

élément (de condensateur)

dispositif constitué essentiellement par deux électrodes séparées par un diélectrique

[SOURCE: CEI 60050-436:1990, 436-01-03]

3.2

condensateur unitaire unité (de condensateur)

ensemble d'un ou de plusieurs éléments de condensateurs placés dans une même enveloppe et reliés à des bornes de sortie

[SOURCE: CEI 60050-436:1990, 436-01-04]

3.3

batterie (de condensateurs)

ensemble de condensateurs unitaires raccordés de façon à agir conjointement

[SOURCE: CEI 60050-436:1990, 436-01-06]

3.4

fusible d'unité

fusible destiné à être utilisé pour la protection d'un condensateur unitaire qui fait partie d'une batterie de condensateurs

3.5

fusible de ligne

fusible destiné à être utilisé pour la protection globale d'un condensateur raccordé à un point donné d'un réseau.

3.6

tension assignée d'un condensateur

U_r

valeur efficace de la tension alternative pour laquelle le condensateur a été conçu

Note 1 à l'article: Dans le cas de condensateurs composés d'un ou plusieurs circuits séparés (par exemple, des éléments monophasés destinés à être utilisés dans une connexion polyphasée, ou dans des unités polyphasées avec des circuits séparés), U_r désigne la tension assignée de chaque circuit.

Note 2 à l'article: Pour les condensateurs polyphasés avec des connexions électriques internes entre les phases et pour les batteries de condensateurs polyphasés, U_r désigne la tension entre phases.

[SOURCE: CEI 60050-436:1990, 436-01-15, modifié par l'addition du symbole et des notes à l'article]

3.7

recharge

ensemble de pièces de rechange destiné à remettre un élément de remplacement dans son état initial après fonctionnement

[SOURCE: CEI 60050-441:2007, 441-18-15]

3.8

courant de coupure capacitif

courant pour lequel les conditions d'emploi et de comportement spécifiées entraînent l'ouverture du circuit composé d'éléments et/ou d'unités de condensateurs en série par le biais du fusible

3.9

courant de coupure capacitif maximal assigné

courant de coupure capacitif maximal que le fusible doit être capable de couper dans les conditions d'utilisation et de comportement prescrites dans cette norme

3.10

énergie de décharge du condensateur assigné caractéristique assignée en joules

énergie stockée dans un condensateur qu'un fusible a été capable de supporter lors de l'essai de coupure sur décharge du condensateur

4 Exigences des performances

4.1 Généralités

Ces fusibles ne remplacent pas un appareil mécanique de connexion, mais lorsqu'ils font partie d'un appareil mécanique de connexion tel qu'un fusible-interrupteur ou un fusible-sectionneur, ils doivent être conformes à cette norme.

Lorsque les fusibles sont utilisés pour la protection externe d'une unité ou d'une batterie (fusibles de ligne), leurs tensions assignées et leurs caractéristiques assignées de coupure doivent être appropriées au réseau.

Les fusibles répondant à cette norme doivent être conformes aux exigences de la CEI 60282-1 ou de la CEI 60282-2, à l'exception de celles qui sont explicitement exclues dans la présente norme.

Le fusible est raccordé en série avec l'unité (ou les unités) qu'il doit isoler si un défaut survient dans cette (ou ces) unité(s). Les courants et tension du fusible dépendent donc des caractéristiques du condensateur et de la batterie auxquels le fusible est raccordé ainsi que des paramètres du circuit d'alimentation.

Le fonctionnement d'un fusible externe est en général déterminé par les deux facteurs suivants:

- a) le courant de défaut à fréquence industrielle provenant d'un défaut d'une partie ou de la totalité du condensateur;
- b) l'énergie fournie par la décharge de toutes unités en parallèle avec le défaut.

Toutefois, la présente norme donne une méthode pour vérifier séparément ces facteurs.

Ces exigences sont valables pour les condensateurs mis en et hors circuit par un dispositif de connexion avec une faible probabilité de réamorçage pendant l'interruption. Si ce n'est pas le cas, d'autres spécifications sont à définir.

Dans le texte de la présente norme, U_r désigne la tension assignée de l'unité et U_{rf} celle du fusible de condensateur.

4.2 Exigences de coupure

4.2.1 Courant de coupure capacitif maximal assigné

Le courant de coupure capacitif maximal assigné préférentiel pour les fusibles des condensateurs sont les valeurs efficaces suivantes: 1 kA, 2,5 kA, 3,15 kA, 4 kA, et 5 kA. D'autres valeurs doivent faire l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur.

4.2.2 Énergie de décharge du condensateur assignée

Une énergie de décharge du condensateur assignée (caractéristique assignée en joules) est assignée à un fusible en se basant sur l'énergie stockée dans une batterie de condensateurs d'essai avant qu'elle ne se décharge par le fusible lors de l'essai de coupure sur décharge du condensateur (5.5). Les valeurs doivent être choisies dans les séries R10 avec un minimum

de 10 kJ. La valeur préférentielle pour les fusibles limiteurs de courant est 40 kJ. Pour assigner une énergie illimitée de décharge du condensateur, voir 5.5.2

La fréquence préférentielle pour les essais de coupure sur décharge de condensateur, indiqué au 5.5, est la suivante:

$$f = 0,8 U_{rf}$$

où f est en hertz et U_{rf} est la tension assignée du fusible, en volts.

5 Essais de type

5.1 Généralités

Pour être conformes à la présente norme, les fusibles doivent être soumis aux essais spécifiés dans le Tableau 1.

Pour les fusibles appartenant à une série homogène selon les définitions de la CEI 60282-1 et la CEI 60282-2, il est admis que les essais effectués sur un nombre réduit de courants assignés soient valables pour les autres courants assignés. Des instructions détaillées sont données aux 5.4.1 et 5.5.1.

Tableau 1 – Essais de type exigés

Essais	Fusible de ligne	Fusible d'unité	
		Où les courants inductifs sont susceptibles d'être présents ^a	Où les courants inductifs ne sont pas susceptibles d'être présents ^b
Courants inductifs à fréquence industrielle (5.3)	X	X	–
Courants capacitifs à fréquence industrielle ^c (5.4)	X	X	X
Décharge capacitive (5.5)	– ^d	X	X
^a Exemples de telles applications: – fusibles d'unité dans des batteries de condensateurs montées en triangle sans unité en série; – fusibles d'unité dans des batteries de condensateurs montées en étoile sans unité en série et avec neutre à la terre. – fusibles d'unité sans unité de condensateur en série, utilisé sur des circuits monophasés ^b Exemples de telles applications: – fusibles d'unité dans des batteries de condensateurs montées en étoile avec neutre isolé; – batteries de condensateurs où les unités sont en série. ^c Ces essais ne sont pas exigés pour les fusibles où des courants capacitifs limités ne devraient pas circuler. Exemples: des condensateurs ayant un seul groupe interne d'éléments, montés en triangle ou en étoile mise à la terre sans unité de condensateur en série. ^d Des applications inhabituelles, comme des batteries montées dos-à-dos sur le même pôle, chaque batterie ayant son propre fusible de ligne, peuvent nécessiter un fusible capable d'interrompre des courants de décharge capacitive. Ces batteries étant généralement de petite taille, la plupart des fusibles de ligne peuvent supporter les courants de décharge de manière satisfaisante. Veuillez consulter le fabricant du fusible pour ce type d'applications.			

5.2 Règles d'essais

Le fusible doit être neuf, propre et en bon état.

L'élément de remplacement doit être soumis à essais sur un socle ou monté directement tel que spécifié par son constructeur.

En effectuant une suite d'essais sur des éléments de remplacement rechargeables, seuls les éléments fusibles, les recharges et les parties normalement remplaçables doivent être remplacées. Un nouveau porte-fusible doit être utilisé pour une autre suite d'essais.

5.3 Essais de courants inductifs à fréquence industrielle

Ces essais doivent comprendre: les suites d'essais 1 et 2 conformément à la CEI 60282-1; ou les suites d'essais 1, 2, 3 et 4 suivant la CEI 60282-2.

Pour les essais d'interruption de courant inductif sur les fusibles d'unité de condensateur, un condensateur doit être monté en parallèle du fusible soumis à l'essai. Ce condensateur parallèle doit avoir une taille pouvant fournir un courant à la tension d'essai entre 25 % et 75 % du courant assigné du fusible soumis à l'essai. Les exigences en matière de tension transitoire de rétablissement de la CEI 60282-1 ne s'appliquent pas aux essais sur les fusibles d'unité de condensateur lorsque des condensateurs parallèles sont utilisés sur le circuit d'essai.

Les fusibles d'unité de condensateur qui remplissent les exigences de coupure lors d'un essai sans condensateur parallèle n'ont pas besoin d'être à nouveau soumis à essai avec des condensateurs parallèles montés sur le circuit d'essai.

5.4 Essais de courant de coupure capacitif

5.4.1 Description des essais à effectuer

Pour les fusibles limiteurs de courant et pour les fusibles à expulsion appartenant à une série homogène, selon les définitions de la CEI 60282-1 et la CEI 60282-2, les essais doivent être effectués sur les éléments de remplacement avec le courant assigné le plus élevé. Pour les fusibles à expulsion, la suite d'essais A doit également être effectuée sur les éléments de remplacement avec le courant assigné le plus faible de la série. Un élément de remplacement de type K de 6,3 A (ou équivalent) peut être utilisé pour l'exigence de courant assigné le plus faible.

Ces essais sont destinés à prouver que le fusible est capable de couper les courants capacitifs et doivent comprendre deux suites d'essais:

- *Suite d'essais A*: vérification du courant capacitif de coupure maximal assigné (voir 4.2.2.);
- *Suite d'essais B*: vérification de fonctionnement avec une valeur de courant conduisant à une durée de préarc de 10 s ou plus.

Les circuits d'essais spécifiés en 5.4.2 et les paramètres spécifiés en 5.4.5 ont été choisis de façon à reproduire aussi fidèlement que possible le service que les fusibles assurent dans les applications réelles.

En ce qui concerne les fusibles de condensateur, le type de défaillance des condensateurs unitaires détermine l'amplitude et la nature (capacitive ou inductive) du courant que le fusible doit couper. La suite d'essais A simule le cas où le fusible coupe un courant capacitif élevé à cause d'une défaillance significative du condensateur. Lors d'une défaillance progressive élément par élément dans un condensateur unitaire, le courant augmente jusqu'à ce qu'il atteigne une amplitude capable de faire fonctionner le fusible. La suite d'essais B simule ce cas.

5.4.2 Circuits d'essais

5.4.2.1 Généralités

Les essais doivent être effectués en courant alternatif monophasé avec des fusibles unipolaires.

L'impédance de source doit être telle que la variation de la tension de source provoquée par la coupure du courant de charge capacitive ne dépasse pas 10 % (voir Figures 1 et 2, $U_{sc}/U_{so} \leq 1,1$). Le circuit source doit avoir un facteur de puissance n'excédant pas 0,15 en retard et une capacité aussi faible que possible.

Il est recommandé que la forme de l'onde du courant à couper soit aussi voisine que possible d'une sinusoïde. Cette condition est considérée comme remplie si le rapport de la valeur efficace du courant à la valeur efficace de la composante fondamentale ne dépasse pas 1,2.

Le courant à couper ne doit pas passer par zéro plus d'une fois par demi-période.

5.4.2.2 Fusibles d'unité

Pour la suite d'essais A, le circuit de charge doit être celui représenté à la Figure 1.

Le fonctionnement du fusible est provoqué par la fermeture de l'interrupteur S2 en série avec lui, de façon à simuler la défaillance totale d'un condensateur unitaire qu'il protégerait.

C_T représente la capacité de la batterie qui limite le courant de défaut et C_P représente les condensateurs en parallèle avec l'unité défaillante. La valeur de C_P en microfarads doit être $C_P \geq 1000 / U_{rf}^2$, U_{rf} étant exprimé en kilovolts.

NOTE 1 Afin d'atteindre la tension de rétablissement spécifiée dans le Tableau 2, la source de tension en circuit ouvert U_{so} doit avoir une valeur supérieure. Cela peut être déterminé en prenant en compte le rapport des capacités, approximativement $U_{so} = (C_T + C_P)/C_T \times U_{rf}$.

Pour la suite d'essais B, le circuit de charge doit être celui représenté à la Figure 2.

Le fonctionnement du fusible est provoqué par l'ouverture de l'interrupteur S en parallèle avec lui.

C_T représente les éléments sains du condensateur unitaire et C_P représente les autres unités de la batterie en parallèle avec l'unité défaillante. La valeur de C_P en microfarads doit être $C_P \geq 1\,000 / U_{rf}^2$, U_{rf} étant exprimé en kilovolts.

NOTE 2 Dans les deux circuits, l'influence de la capacité sur la tension de rétablissement aux bornes du fusible lors de son fonctionnement est prise en compte par C_P . La valeur minimale spécifiée représente de 300 kVar à 400 kVar (selon la fréquence) c'est-à-dire la puissance de la plus petite batterie pour laquelle des fusibles individuels sont normalement utilisés. L'expérience a montré que la valeur de C_P n'a pas d'influence critique sur la coupure du courant capacitif par les fusibles et c'est pourquoi seule une valeur minimale est spécifiée.

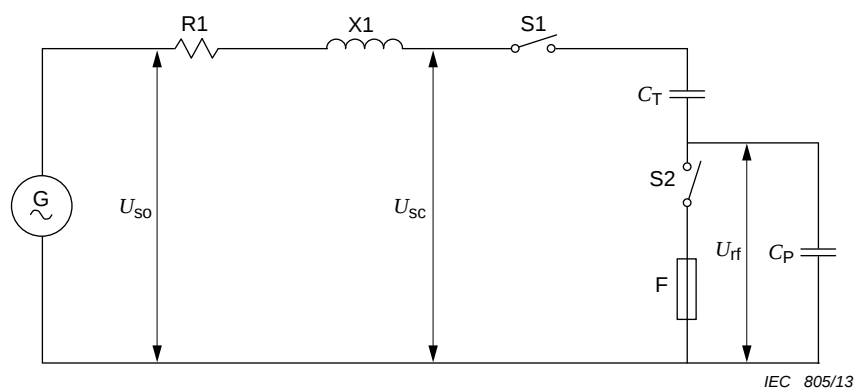
5.4.2.3 Fusibles de ligne

Pour les suites d'essais A et B effectuées sur les fusibles de ligne, le circuit de charge doit être celui représenté à la Figure 1, exceptée la capacité C_P qui doit être supprimée.

5.4.3 Disposition de l'appareil

Les fusibles à expulsion et les fusibles sectionneurs limiteurs de courant à ouverture automatique doivent être montés de la même manière que dans une batterie de condensateurs. Un fusible sous tension doit être placé de chaque côté du fusible en essai, de façon à vérifier correctement que l'expulsion des gaz ou la réduction de la distance dans l'air ne provoque pas d'amorçages susceptibles de faire fonctionner les fusibles voisins. L'espace entre les fusibles doit être consigné.

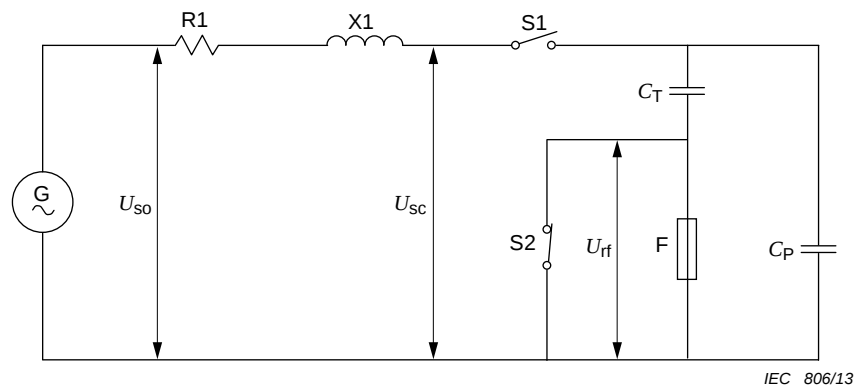
Les autres fusibles limiteurs de courant peuvent être montés de toutes les manières qui conviennent.



Légende

R1	résistance source	S2	interrupteur déclencheur de la fonte du fusible
X1	réactance source	F	fusible soumis à essai
S1	interrupteur de fermeture de laboratoire	U_{SO}	tension source (en circuit ouvert)
C_T	condensateurs pour produire le courant d'essai	U_{SC}	tension source avec courant capacitif d'essai
C_P	condensateurs correspondant aux condensateurs en parallèle de l'unité défaillante	U_{rf}	tension du fusible de rétablissement

Figure 1 – Circuit d'essai pour la suite d'essais A



Légende

R1	résistance source	S2	interrupteur déclencheur de la fonte du fusible
X1	réactance source	F	fusible soumis à essai
S1	interrupteur de fermeture de laboratoire	U_{SO}	tension source (en circuit ouvert)
C_T	condensateurs pour produire le courant d'essai	U_{SC}	tension source avec courant capacitif d'essai
C_P	condensateurs correspondant aux condensateurs en parallèle de l'unité défaillante	U_{rf}	tension du fusible de rétablissement

Figure 2 – Circuit d'essai pour la suite d'essais B

5.4.4 Procédure d'essai

Les modalités d'essai à suivre pour obtenir le courant présumé spécifié doivent être celles spécifiées pour les essais de coupure dans la CEI 60282-1 ou la CEI 60282-2.

5.4.5 Paramètres à utiliser pour les essais

Les paramètres à utiliser au cours des essais sont donnés dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Essais de courant de coupure capacitif

Paramètres		Suite d'essais A	Suite d'essais B
Tension de rétablissement à fréquence industrielle (c'est-à-dire à l'exclusion de la composante apériodique de la tension)		1,0 $U_{rf}^{+5}_0\%$	1,0 $U_{rf}^{+5}_0\%$
Facteur de puissance source (retard)		≤0,15	
facteur de puissance du circuit total (avance)		≤0,15	
Courant présumé		Courant capacitif de coupure maximal assigné	Valeur de courant donnant une durée de préarc de 10 s ou plus ^b
Angle d'établissement après le zéro de tension		De 0 ° à 20 ° ^a	Aléatoire
Nombre d'essais		3	2
Durée de la tension de rétablissement à fréquence industrielle après interruption	Fusibles sectionneurs ou à ouverture automatique	Non inférieure au temps de sectionnement ou à 0,5 s, la plus longue durée des deux	
	Fusibles n'entraînant pas d'ouverture automatique	Non inférieure à 60 s	

^a Cela donne les contraintes les plus sévères sur le fusible, car la fermeture du circuit au voisinage du zéro de tension réduit au minimum le courant de décharge en provenance de la capacité en parallèle et son effet sur la durée de préarc du fusible.

^b Si le fusible soumis à l'essai est un fusible de compensation, à utiliser en série avec un autre dispositif destiné à couper les courants faibles, le courant doit être choisi de manière à entraîner un temps de fusion plus court. Pour les fusibles destinés à des applications dans lesquelles les temps de fusion peuvent être long (ex.: utilisation de fusibles à Coupure intégrale), il peut être nécessaire de réaliser des essais à des courants qui entraînent des temps de fusion plus longs.

5.4.6 Essai I_t pour les éléments de remplacement présentant des courants d'intersection

En cas de fusibles comprenant différents dispositifs d'extinction d'arc dans la même enveloppe (par exemple des éléments limiteurs de courant et des éléments d'expulsion en série), ou pour les fusibles combinant un fusible à expulsion connecté en permanence à un fusible limiteur, il doit être ajouté aux suites d'essais A et B ci-dessus des essais supplémentaires destinés à prouver leur bon fonctionnement dans la ou les zones de courant I_t où le processus de coupure est transféré d'un dispositif de coupure à un autre. Dans la mesure où les fusibles sont conçus de manières très différentes, il n'est pas possible de spécifier des exigences d'essai précises applicables à toutes les conceptions. Il incombe au fabricant du fusible de confirmer par l'essai de coupure I_t que les mécanismes de coupure fonctionnent correctement afin de réaliser une interruption de courant appropriée dans la zone du courant de recouvrement. Les critères typiques utilisés pour évaluer le respect de cette exigence sont traités à l'Annexe G de la CEI 60282-1:2009 "Critères pour déterminer la validité des essais I_t ".

En principe, un minimum de deux essais doit être réalisé pour chacune des deux valeurs ci-dessous:

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

et

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

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

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

Les paramètres à utiliser au cours des essais sont donnés dans le Tableau 2, suite d'essais B.

NOTE Lorsqu'un condensateur nécessite plusieurs alternances d'arc pour couper le courant, le condensateur est effectivement commuté. Cela peut entraîner une augmentation significative du courant traversant le condensateur et le fusible. Par conséquent, pour un fusible particulier, les valeurs pour I_t dans un circuit capacitif peuvent être significativement inférieures aux valeurs pour I_t dans un circuit inductif.

5.5 Essais de coupure sur décharge du condensateur

5.5.1 Généralités

Ces essais sont effectués pour vérifier l'énergie que le fusible est capable de supporter sans éclater.

Un essai d'étalonnage doit être effectué en remplaçant le fusible en essai par une barrette d'impédance négligeable comparée à celle du circuit d'essai. Cet essai peut être fait avec une tension réduite.

Le circuit doit être ajusté pour donner l'énergie de décharge, la fréquence d'oscillation et le décrétement spécifiés. Ceci doit être vérifié par un enregistrement oscillographique. Le rapport entre les crêtes doit être compris entre 0,8 et 0,95 pour les essais de coupure sur décharge.

Les essais doivent être effectués sur des fusibles neufs avec les quantités d'énergie spécifiées par le constructeur.

Pour les fusibles limiteurs de courant appartenant à une série homogène selon la définition de la CEI 60282-1, les essais doivent être effectués sur l'élément de remplacement ayant le courant assigné le plus élevé.

Pour les fusibles à expulsion, les essais doivent être effectués sur tous les types de fusibles où l'intérieur du tube du fusible et/ou sa longueur changent, et sur tous les fusibles où les matériaux du tube sont différents des autres dispositifs soumis à essais. Pour les fusibles utilisant des éléments de remplacement, les essais doivent être effectués avec les éléments le plus petit et le plus grand qui sont destinées à être utilisées dans son porte-fusible et pour une énergie de décharge de condensateur spécifiée. La taille de l'élément de remplacement dans un porte-fusible varie en fonction du condensateur utilisé, et l'exigence relative à l'énergie de décharge du condensateur est liée à la quantité et à la taille des condensateurs parallèles connectés. Cependant, il n'est pas nécessaire d'utiliser des éléments de remplacement inférieurs à 6,3 A de type K (ou équivalent) pour les exigences de taille minimale.

5.5.2 Circuits d'essais

Les essais doivent être effectués avec un condensateur, dont la capacité est telle que l'énergie emmagasinée a la valeur spécifiée à la tension d'essai spécifiée ci-après. Ce condensateur doit être chargé en courant continu à l'une des tensions suivantes:

- $2,0 U_{rf} \sqrt{2}$ (+0 %, -10 %) pour les fusibles limiteurs;
- $1,0 U_{rf} \sqrt{2}$ (+10 %, -0 %) pour les fusibles à expulsion, sauf indication contraire.

Le condensateur doit être déchargé par le fusible soumis à l'essai dans un circuit ayant une fréquence aussi proche que possible de la valeur préférentielle indiquée en 4.2.2, où la fréquence d'oscillation est:

$$f = 0,8 U_{rf} (+20 \%, -0 \%)$$

où f est en hertz et U_{rf} est la tension assignée du fusible, en volts.

La fréquence de décharge réelle mesurée pendant l'essai doit être consignée dans le rapport d'essai, ainsi que les caractéristiques assignées de l'énergie maximale stockée (en joules). Les caractéristiques assignées en joules du fusible soumis à essai correspondent à l'énergie stockée dans la batterie de condensateurs d'essai avant le moment où elle est déchargée par le fusible. Si des caractéristiques assignées en joules sont nécessaires de manière "illimitée" pour un fusible limiteur, la tension de la charge peut alors être augmentée afin que, au moment de la coupure, la tension restante dans la batterie soit non inférieure à $1,80 U_{rf} \sqrt{2}$ (tension de charge minimale pour des caractéristiques assignées en joules limitées).

5.5.3 Procédure d'essai

Deux essais doivent être effectués. Pour les fusibles à expulsion, le deuxième essai doit être fait sur un fusible entièrement neuf.

Pour les fusibles qui n'introduisent pas un intervalle d'air visible dans le circuit au cours de leur fonctionnement, la tension résiduelle du condensateur doit être maintenue sur le fusible pendant 10 min après le fonctionnement. Cela implique que le condensateur utilisé pour l'essai ne comporte pas de résistance de décharge.

Pour les autres fusibles, rien n'est spécifié en ce qui concerne le maintien de la tension.

Pour les fusibles limiteurs de courant, la tension résiduelle aux bornes du condensateur doit être mesurée immédiatement après la décharge afin de déterminer la quantité d'énergie dissipée dans l'élément de remplacement. La tension résiduelle doit être indiquée dans le rapport d'essai.

5.6 Conditions normales de fonctionnement en ce qui concerne les essais de coupure

- a) Aucun amorçage à la terre ou sur les condensateurs voisins ne doit se produire. Un élément de remplacement limiteur de courant ne doit pas émettre de flamme ni de poudre. Il est cependant admis qu'une faible émission de flamme puisse se produire à partir d'un percuteur ou d'un dispositif indicateur à condition que cela ne provoque pas d'amorçage ni de courant de fuite important à la terre.
- b) Après fonctionnement, les parties du fusible, sauf celles prévues pour être remplacées après chaque fonctionnement, doivent être sensiblement dans le même état qu'au début de l'essai sauf pour ce qui concerne l'érosion de l'intérieur du tube des fusibles à expulsion.

Pour les fusibles limiteurs de courant, il doit être possible d'enlever l'élément de remplacement en une seule pièce après son fonctionnement.

Cependant, après l'essai de coupure sur décharge, les pièces du fusible peuvent avoir été endommagées et nécessiter leur remplacement pour remettre le fusible en état de fonctionner.

6 Renseignements à donner à l'utilisateur

- la tension assignée du fusible;
- le courant assigné de l'élément de remplacement ou la recharge; en complément, le courant maximal admissible en service continu peut également être spécifié;
- le courant assigné du socle ou des contacts du porte-fusible;
- les caractéristiques temps-courant comme indiqué dans la CEI 60282-1 ou la CEI 60282-2 pour une température de l'air ambiant de 20 °C;

NOTE Il convient que les informations soient disponibles sur demande pour les températures de l'air ambiant entre –40 °C et +75 °C.

- le courant de coupure capacitif maximal assigné, si nécessaire (voir Tableau 1);
- le courant de coupure maximal assigné (inductif), si nécessaire (voir Tableau 1);

- l'énergie maximale disponible du condensateur que le fusible peut supporter aux tensions indiquées 5.5.2 sans éclater;
- la fréquence atteinte durant l'essai de coupure sur décharge du condensateur;
- la valeur minimale de I^2t de préarc (dans des conditions pratiquement adiabatiques) et la valeur maximale de I^2t de fonctionnement total pour des courants inductifs et capacitifs à fréquence industrielle;
- la ligne de fuite extérieure le long de l'élément de remplacement (pour les fusibles autres que les fusibles sectionneurs à ouverture automatique).

7 Informations d'application

7.1 Tensions de fonctionnement

Les méthodes et les tensions d'essai sont choisies selon les exigences suivantes. Il convient que le fusible puisse isoler l'unité (ou les unités) en défaut avec un minimum de perturbation pour le réseau et pour l'unité concernée, dans les situations de réseau les plus courantes, à l'instant du défaut et aux tensions suivantes:

- a) En présence de courants transitoires, par exemple lors de la mise sous tension, la limite supérieure de la tension transitoire entre bornes de l'unité est $2,0 U_r \sqrt{2}$, dans laquelle U_r est la tension nominale de l'unité. Après fonctionnement, le fusible doit être capable de supporter cette tension transitoire;
- b) Lorsque le fusible est soumis à des courants capacitifs à fréquence industrielle, il doit être capable de fonctionner sous une tension de $1,1 U_r$ et par suite de supporter cette tension augmentée de la composante apériodique résultant d'une charge capacitive résiduelle après fonctionnement du fusible.

7.2 Tension assignée

Les conseils habituels d'application ont été de spécifier une tension assignée du fusible au moins 10 % supérieure à la tension assignée U_r de l'unité de condensateur. Ceci se base sur le fait qu'il est admis de faire fonctionner des condensateurs à 110 % de leur tension assignée pendant 12 heures maximum par période de 24 heures (CEI 60871-1). Par conséquent, la protection de surtension d'un condensateur est souvent réglée 10 % au-dessus de la tension assignée, les fusibles peuvent avoir à fonctionner à cette tension. Cependant, si la protection du réseau ne limite pas la tension à ce niveau, il convient qu'un fusible soit choisi de manière à avoir une tension assignée au moins aussi élevée que la plus haute tension de service estimée, incluant les surtensions qui peuvent être produites par un courant de défaut de condensateur ou par un déséquilibre de batterie. Lorsqu'un fusible est soumis à l'essai de la CEI 60549, le courant capacitif d'essai peut produire une augmentation de la tension de source allant jusqu'à 10 % (5.4.2.1). Cependant, on ne peut supposer qu'un modèle spécifique de fusible ait été soumis à essai à ce maximum de 10 %, puisque l'augmentation réelle dépend de l'impédance de la source et de la valeur du courant d'essai. Par conséquent, il convient de ne pas supposer qu'un fusible ait une capacité supérieure à sa tension assignée (qui est égale à la tension de rétablissement à fréquence industrielle pendant l'essai).

7.3 Courant assigné

Le courant assigné du fusible doit être au moins égal à 1,43 fois le courant nominal I_n du condensateur.

NOTE 1 En principe, le courant en service continu ne dépasse pas 1,3 fois I_n , mais comme la capacité peut atteindre 1,1 fois la valeur correspondant à la puissance nominale, le courant peut avoir une valeur maximale de $1,3 \times 1,1 = 1,43$ fois le courant nominal.

NOTE 2 Lorsque la température de l'air à l'emplacement du fusible dépasse 40 °C, il est recommandé de consulter le constructeur.

NOTE 3 Pour certains types d'éléments de remplacement offrant une possibilité de surcharge, il est recommandé de prendre cette propriété en considération.

Bibliographie

- [1] CEI 60050-436:1990, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 436: Condensateurs de puissance*
 - [2] CEI 60050-441:1984, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*
-

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