

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 60787

Première édition
First edition
2007-03

**Guide d'application pour le choix des éléments de
remplacement limiteurs de courant à haute tension
destinés à être utilisés dans des circuits
comprenant des transformateurs**

**Application guide for the selection of high-voltage
current-limiting fuse-links for transformer circuits**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TR 60787:2007

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 60787

Première édition
First edition
2007-03

**Guide d'application pour le choix des éléments de
remplacement limiteurs de courant à haute tension
destinés à être utilisés dans des circuits
comprenant des transformateurs**

**Application guide for the selection of high-voltage
current-limiting fuse-links for transformer circuits**

© IEC 2007 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

L

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	4
1 Domaine d'application et objet.....	8
2 Références normatives.....	8
3 Caractéristiques de limitation de courant.....	8
4 Caractéristiques temps-courant des éléments de remplacement.....	10
5 Coordination.....	12
6 Autres exigences et caractéristiques assignées.....	14
6.1 Tension assignée	14
6.2 Pouvoir de coupure assigné	14
6.3 Courant de coupure minimum assigné et classe.....	14
6.3.1 Eléments de remplacement utilisés en combinaison ou en association avec d'autres appareillages de connexion	14
6.3.2 Eléments de remplacement utilisés comme la seule protection du côté haute tension du transformateur.....	16
6.3.3 Eléments de remplacement utilisés pour la protection contre les courts-circuits conjointement avec des éléments de remplacement à expulsion.....	16
7 Choix des courants assignés des éléments de remplacement destinés à des circuits comprenant des transformateurs	18
Figure 1 – Comparaison de l'intégrale de Joule de fonctionnement (I^2t) pour les fusibles limiteurs de courant et les dispositifs non limiteurs de courant	10
Figure 2 – Courbes caractéristiques pour la protection d'un circuit comprenant un transformateur HT/BT	20

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope and object.....	9
2 Normative references	9
3 Features of current limitation	9
4 Fuse-link time-current characteristics	11
5 Coordination.....	13
6 Other ratings and requirements	15
6.1 Rated voltage	15
6.2 Rated maximum breaking current	15
6.3 Rated minimum breaking current and class:	15
6.3.1 Fuse-links used in combination or association with other switching devices.....	15
6.3.2 Fuse-links used as the only protection on the HV side of the transformer.....	17
6.3.3 Fuse-links used to provide short-circuit protection in combination with expulsion fuse-links	17
7 Selection of rated currents of fuse-links for transformer circuit applications	19
Figure 1 – Comparison of operating Joule integral (I^2t) for current-limiting fuses and non-current-limiting devices.....	11
Figure 2 – Characteristics relating to the protection of the HV/LV transformer circuit	21

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE D'APPLICATION POUR LE CHOIX DES ÉLÉMENTS DE REEMPLACEMENT LIMITEURS DE COURANT À HAUTE TENSION DESTINÉS À ÊTRE UTILISÉS DANS DES CIRCUITS COMPRENANT DES TRANSFORMATEURS

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI 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.

La CEI 60787, qui est un rapport technique, a été établie par le sous-comité 32A : Fusibles haute-tension, du comité d'études 32 de la CEI : Fusibles.

Ce rapport technique annule et remplace la Norme Internationale CEI 60787, parue en 1983, et son amendement 1 (1985), dont elle constitue une révision technique.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**APPLICATION GUIDE FOR THE SELECTION OF HIGH-VOLTAGE
CURRENT-LIMITING FUSE-LINKS FOR TRANSFORMER CIRCUITS**

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 60787, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 32A: High-voltage fuses, of IEC technical committee 32: Fuses.

This technical report cancels and replaces International Standard IEC 60787, published in 1983, and its amendment (1985), and constitutes a technical revision.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
32A/245/DTR	32A/250/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/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance 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.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TR 60787:2007

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

Enquiry draft	Report on voting
32A/245/DTR	32A/250/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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result 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.

GUIDE D'APPLICATION POUR LE CHOIX DES ÉLÉMENTS DE REMPLACEMENT LIMITEURS DE COURANT À HAUTE TENSION DESTINÉS À ÊTRE UTILISÉS DANS DES CIRCUITS COMPRENANT DES TRANSFORMATEURS

1 Domaine d'application et objet

Le document CEI/TR 60787, qui est un rapport technique, sert de guide d'application pour l'emploi, dans des circuits comprenant des transformateurs de distribution, de fusibles satisfaisant aux exigences de la CEI 60282-1 : Fusibles à haute tension - Partie 1: Fusibles limiteurs de courant. Par conséquent, ce document est informatif, et non pas normatif.

L'objet du présent guide d'application est de spécifier les critères de coordination des fusibles à haute tension avec les autres composants du circuit comprenant des transformateurs et de guider l'utilisateur dans le choix des éléments de remplacement, notamment en ce qui concerne leurs caractéristiques temps-courant et leurs caractéristiques assignées.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, c'est l'édition la plus récente du document référencé (y compris tous ses amendements) qui s'applique.

CEI 60076-5 : 2006, *Transformateurs de puissance – Partie 5: Tenue au court-circuit*

CEI 60076-7 : *Transformateurs de puissance – Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile*

CEI 60282-1 : 2005, *Fusibles à haute tension – Partie 1: Fusibles limiteurs de courant*

CEI 60470 : 2000, *Contacteurs pour courant alternatif haute tension et démarreurs de moteurs à contacteurs*

CEI 60905 : *Guide de charge pour transformateurs de puissance de type sec*

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

CEI 62271-107 : 2005, *Appareillage à haute tension – Partie 107 : Circuits-switchers fusibles pour courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 kV et jusqu'à 52 kV inclus*

3 Caractéristiques de limitation de courant

L'utilisation de fusibles limiteurs de courant à haute tension pour la protection du primaire des transformateurs de distribution fournit des avantages significatifs en raison de leur effet limiteur de courant. Dans la plupart des conditions de court-circuit, ils sont capables d'interrompre les courants de défaut en quelques millisecondes après l'apparition du défaut. Par conséquent, la valeur de crête présumée du courant de défaut ne sera pas atteinte et le courant coupé limité résultant ainsi que l'énergie résultante seront réduits de manière significative. Cette caractéristique rend les fusibles limiteurs de courant particulièrement adaptés à la protection des transformateurs de distribution étant donnée leur capacité à prévenir ou à minimiser toutes conséquences majeures consécutives aux défauts internes des transformateurs.

APPLICATION GUIDE FOR THE SELECTION OF HIGH-VOLTAGE CURRENT-LIMITING FUSE-LINKS FOR TRANSFORMER CIRCUITS

1 Scope and object

IEC/TR 60787, which is a technical report, serves as an application guide to the use, for distribution transformer circuit applications, of fuses complying with the requirements of IEC 60282-1: High-voltage fuses - Part 1: Current-limiting fuses. Therefore, this document is informative, not normative.

The object of this application guide is to specify criteria for coordination of high-voltage fuses with other circuit components in transformer applications and to give guidance for the selection of fuse-links with particular reference to their time-current characteristics and ratings.

2 Normative references

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

IEC 60076-5: 2006, *Power transformers – Part 5: Ability to withstand short-circuit*

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

IEC 60282-1: 2005, *High-voltage fuses – Part 1: Current-limiting fuses*

IEC 60470: 2000, *High-voltage alternating current contactors and contactor-based motor-starters*

IEC 60905: *Loading guide for dry-type power transformers*

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

IEC 62271-107: 2005, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 107: Alternating current fused circuit-switchers for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV*

3 Features of current limitation

The use of high-voltage current-limiting fuses for the primary-side protection of distribution transformers provides significant advantages due to their current-limiting action. Under most short-circuit conditions, they are able to interrupt fault currents within a few milliseconds after fault initiation. Hence, the prospective peak of the fault current will not be reached and the resulting let-through current and energy will be significantly reduced. This feature makes current-limiting fuses particularly suited for distribution transformer protection since they are able to prevent or minimize any major consequences of internal transformer faults.

La figure 1 illustre le I^2t de fonctionnement par rapport au courant présumé pour un dispositif non limiteur de courant et un fusible limiteur de courant. En principe, il convient de choisir les caractéristiques de courant les plus faibles du fusible limiteur de courant qui répond aux exigences de coordination de l'article 6. La raison en est qu'un élément de remplacement plus petit d'une conception donnée aura généralement un I^2t de fonctionnement plus faible. Dans le cas d'un défaut de faible impédance interne au transformateur, l'élément de remplacement limitera le courant et la limitation de I^2t ainsi obtenue réduit significativement la probabilité d'une destruction, en particulier avec des transformateurs remplis d'huile.

NOTE I^2t de fonctionnement est proportionnel à l'énergie dissipée à l'emplacement du défaut.

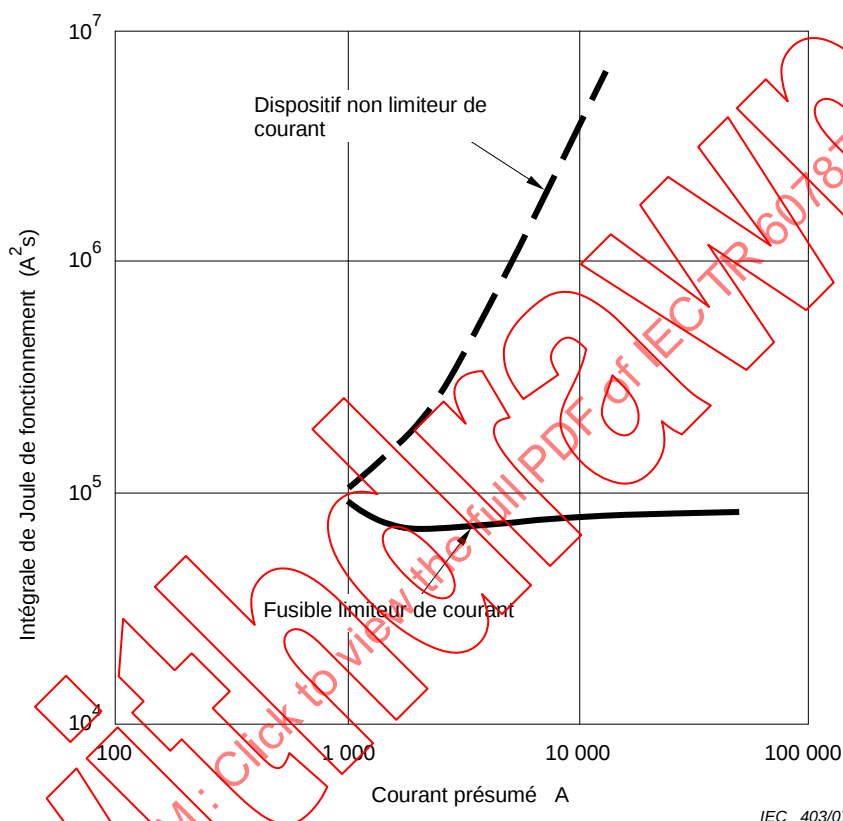


Figure 1 – Comparaison de l'intégrale de Joule de fonctionnement (I^2t) pour les fusibles limiteurs de courant et les dispositifs non limiteurs de courant

L'expérience a montré que le I^2t de fonctionnement associé à une interruption par fusible limiteur de courant est souvent d'un ordre de grandeur inférieur à celui provoquant une destruction du transformateur, d'où l'efficacité des fusibles limiteurs de courant à réduire la probabilité de tels incidents graves.

4 Caractéristiques temps-courant des éléments de remplacement

Il convient de définir comme suit les caractéristiques temps-courant des éléments de remplacement à haute tension destinés à être utilisés dans des circuits comprenant des transformateurs :

- Un courant de fonctionnement relativement élevé dans la partie 0,1 s de façon à supporter le courant d'appel du transformateur et à assurer une bonne coordination avec les dispositifs de protection au secondaire (si de tels dispositifs sont installés).

Figure 1 illustrates the operating I^2t versus prospective current for a non current-limiting device and a current-limiting fuse. In principle, the lowest current rating of current-limiting fuse that meets the coordination requirements of Clause 6 should be chosen. This is because a smaller fuse-link of a given design will generally have a lower operating I^2t . In the case of a low impedance internal transformer fault that produces a current-limiting action by the fuse-link, the I^2t limitation significantly reduces the likelihood of a disruptive failure, particularly with oil-filled transformers.

NOTE operating I^2t is proportional to energy dissipated at the site of the fault.

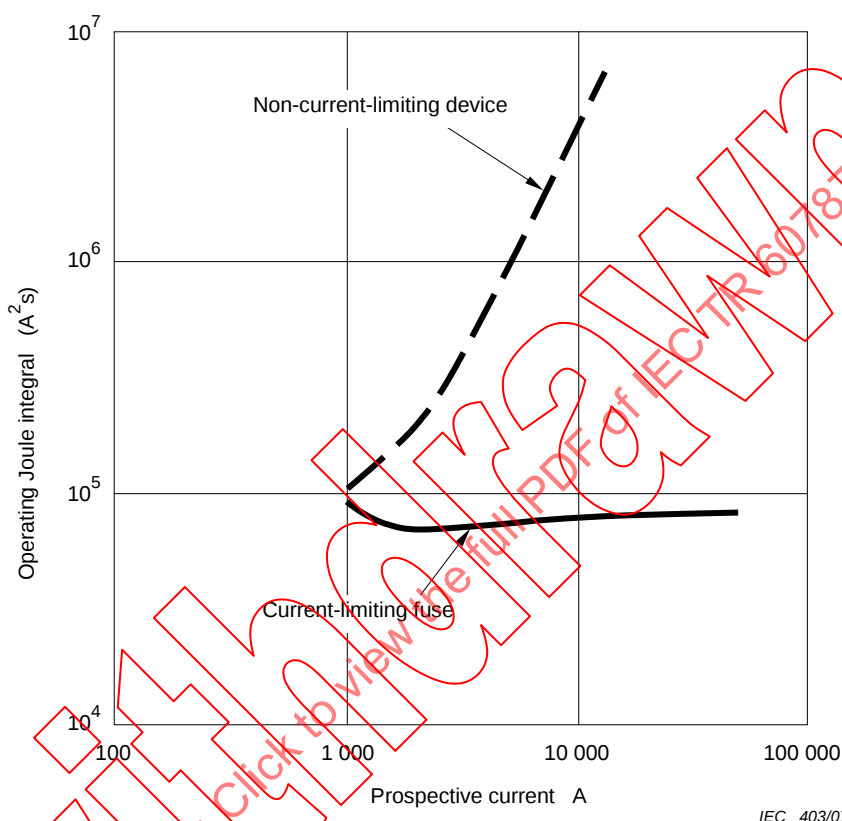


Figure 1 – Comparison of operating Joule integral (I^2t) for current-limiting fuses and non-current-limiting devices

Experience has shown that the I^2t associated with a current-limiting fuse interruption is often an order of magnitude less than that causing a disruptive transformer failure, hence the effectiveness of current-limiting fuses in reducing the likelihood of such serious incidents.

4 Fuse-link time-current characteristics

The time-current characteristics of high-voltage fuse-links for transformer circuit applications should have the following features:

- Relatively high operating current in the 0,1 s region so as to withstand transformer inrush current and give good coordination with protection devices on the secondary side (where fitted).

- b) Un courant de fonctionnement relativement faible dans la partie 10 s de façon à :
- assurer une élimination rapide des défauts d'enroulement du transformateur, des défauts au secondaire (voir la Note ci-dessous) et, s'il y a lieu, des défauts à la terre au primaire ;
 - effectuer une bonne coordination avec les dispositifs de protection contre les surintensités du côté source.

Il convient donc que les caractéristiques temps-courant de préarc des éléments de remplacement destinés à être utilisés dans des circuits comprenant des transformateurs se situent dans les limites suivantes :

$$I_{f10} / I_n \leq 6$$

$$I_{f0,1} / I_n \geq 7(I_n / 100)^{0,25}$$

où, toutes les valeurs de courant étant exprimées en ampères :

I_n est le courant assigné de l'élément de remplacement

I_{f10} et $I_{f0,1}$ sont les courants de préarc correspondant respectivement à 10 s et 0,1 s exprimés en valeurs moyennes avec les tolérances indiquées au paragraphe 4.11 de la CEI 60282-1.

Le terme $(I_n/100)^{0,25}$ est introduit pour tenir compte du fait que sur une gamme d'éléments de remplacement les caractéristiques temps-courant de préarc divergent au voisinage de la zone des temps courts.

NOTE Les transformateurs sont conçus pour résister aux courants de court-circuit provoqués par un court-circuit boulonné sur les bornes BT pendant une durée spécifiée de tenue aux courts-circuits. Il est de ce fait important de vérifier que, au courant résultant du côté HT, le temps de coupure maximal du fusible HT est égal ou inférieur à la durée spécifiée de tenue aux courts-circuits du transformateur (se reporter à la CEI 60076-5, 4.1.3).

5 Coordination

La Figure 2 illustre un circuit caractéristique de transformateur comportant un ou des éléments de remplacement à haute tension, un transformateur et d'éventuels dispositifs de protection du côté source et du côté charge.

Le transformateur sera choisi d'abord en fonction de ses conditions de service. Cela détermine alors son courant assigné, les surcharges admissibles (si applicable) ainsi que le courant d'appel à la mise sous tension. Le ou les éléments de remplacement à haute tension sont alors choisis de manière à assurer au circuit la protection optimale tout en gardant à l'esprit les facteurs des points a) à d) énumérés ci-après.

En se rapportant à la figure 2, il convient que :

- a) La caractéristique temps-courant de préarc minimale de l'élément de remplacement à haute tension au primaire soit à droite du point A définissant le courant d'appel du transformateur. Pratiquement, on peut prendre pendant 0,1 s de 10 à 12 fois le courant assigné du transformateur.
- b) Le courant assigné de l'élément de remplacement à haute tension, au primaire, dépasse le courant assigné du transformateur :
 - 1) d'une valeur suffisante pour tenir compte des surcharges admissibles du transformateur dans les conditions de service (se reporter au guide CEI 60076-7 et au guide CEI 60905).

b) Relatively low operating current in the 10 s region so as to:

- ensure rapid clearance of transformer winding faults, secondary side faults (see Note below) and, if applicable, primary side earth faults;
- give good coordination with overcurrent protective devices on the source side.

Therefore, the pre-arcing time-current characteristics of fuse-links for transformer circuit applications should preferably be within the following limits:

$$I_{f10} / I_n \leq 6$$

$$I_{f0,1} / I_n \geq 7(I_n / 100)^{0,25}$$

where, all current values being expressed in amperes:

I_n is the rated current of the fuse-link;

I_{f10} and $I_{f0,1}$ is the pre-arcing currents corresponding to 10 s and 0,1 s respectively, expressed as mean values with the tolerances specified in 4.11 of IEC 60282-1.

The term $(I_n/100)^{0,25}$ is introduced to take account of the fact that the pre-arcing time-current characteristics for a range of fuse-links diverge as they approach the short-time region.

NOTE Transformers are designed to withstand short-circuit currents caused by a solid short-circuit on the LV terminals for a specified short-circuit withstand duration. It is therefore important to verify that, at the resulting current on the HV side, the HV fuse maximum breaking time is equal to or less than the specified short-circuit withstand duration of the transformer (refer to IEC 60076-5, 4.1.3).

5 Coordination

Figure 2 illustrates a typical transformer application involving a high-voltage fuse-link (or fuse-links), a transformer and possible protective devices on both source and load sides.

The transformer will be chosen first for its particular duty. This establishes the value of the rated current of the transformer, the value of the permissible overload current (where applicable) and also by inference, the inrush current. The high-voltage fuse-link(s) are then chosen so as to give optimum protection to the circuit, bearing in mind the factors of Items a) to d) listed below.

With reference to Figure 2, the following should be noted:

- a) The primary side high-voltage fuse-link minimum pre-arcing time-current characteristic should be to the right of point A defining the transformer inrush characteristic. For practical purposes this may be taken from 10 to 12 times the transformer rated current for a duration of 0,1 s.
- b) The rated current of the primary side high-voltage fuse-link should exceed the rated current of the transformer:
 - 1) by an amount sufficient to allow for permissible overloading of the transformer under service conditions (refer to IEC 60076-7 and IEC 60905).

- 2) d'une valeur supplémentaire lorsque le ou les éléments de remplacement sont montés dans une enveloppe de façon à s'assurer que les limites de température spécifiées pour les éléments de remplacement ne sont pas dépassées et de sorte que la température excessive de l'élément fusible ne conduise pas à un fonctionnement prématuré du fusible. Voir l'annexe F de la CEI 60282-1.
- 3) d'une valeur supplémentaire lorsque la température de l'air ambiant est susceptible de dépasser celle qui est spécifiée à l'article 2 de la CEI 60282-1.
- c) Le courant de préarc de l'élément de remplacement, au primaire, soit aussi faible que possible, dans la partie 10 s de la caractéristique temps-courant, de façon à assurer le maximum de protection au transformateur (voir article 5 et la Note 1 ci-dessous).
- d) Pour une coordination complète entre les éléments de remplacement au primaire et au secondaire ou d'autres dispositifs de protection du côté charge, l'intersection B de la caractéristique temps-courant de préarc minimale au primaire et de la caractéristique de fonctionnement total maximale du dispositif au secondaire (cette dernière étant rapportée au primaire en tenant compte du rapport approprié) corresponde à une valeur de courant supérieure à celle du défaut maximal du côté charge du dispositif de protection au secondaire.

S'il est évident, en fin de compte, que le degré souhaité de coordination n'a pas été atteint par ce moyen, le choix ou le réglage du dispositif de protection contre les surintensités, côté source, peut être réexaminé. De même et pour les mêmes raisons, il peut être nécessaire de réduire les caractéristiques assignées maximales du ou des éléments de remplacement au secondaire.

NOTE Mise sous tension de Charge Froide : Certains utilisateurs ont une exigence pour le fusible à haute tension en vue de répondre aux conditions de mise sous tension de charge froide. Celles-ci peuvent se présenter en raison de la perte de diversité des charges à la suite d'une reconnexion et du courant plus élevé prélevé par certains composants de système à froid. Aucune valeur normalisée n'existe pour de telles conditions et il se peut qu'une telle tenue soit en contradiction avec les exigences de l'article 5c). Une telle contradiction dans les exigences peut être résolue par des discussions entre l'utilisateur et le constructeur de fusibles.

6 Autres exigences et caractéristiques assignées

6.1 Tension assignée

Voir 4.1 et 9.3.4 de la CEI 60282-1.

6.2 Pouvoir de coupure assigné

Voir 4.8.1 de la CEI 60282-1.

6.3 Courant de coupure minimum assigné et classe

Voir 4.8.2 de la CEI 60281-1 et ci-dessous :

Il convient de choisir les éléments de remplacement de sorte que la valeur du courant minimal de coupure soit appropriée à l'application considérée. Il convient de souligner que l'utilisation d'un élément de remplacement ayant une valeur trop élevée de courant minimal de coupure peut, dans certains cas, donner lieu à une destruction de l'élément de remplacement et aux dommages en résultant.

6.3.1 Éléments de remplacement utilisés en combinaison ou en association avec d'autres appareillages de connexion :

Il suffit que le courant minimal de coupure soit assez faible pour assurer une coordination correcte avec l'appareillage de connexion du combiné. Des fusibles associés sont généralement utilisés pour cette application.

- 2) by a further amount where the fuse-link(s) are mounted in an enclosure so as to ensure that the specified temperature limits for fuse-links are not exceeded and so that excessive fuse element temperature does not lead to premature fuse operation. See Annex F of IEC 60282-1.
- 3) by a further amount where the ambient air temperature is likely to exceed that specified in Clause 2 of IEC 60282-1.
- c) The pre-arcing current of the primary side high-voltage fuse-link should be as low as possible in the 10 s region of the fuse time-current characteristic in order to ensure the maximum protection of the transformer (see Clause 5 and Note 1 below).
- d) For complete coordination between primary side and secondary side fuse-links or other protective devices on the load side, the intersection B of the primary side time-current characteristic (minimum pre-arcing) and the secondary side device characteristic (maximum total operating) (as referred to the primary side taking into account the appropriate ratio) should occur at a value of current greater than that of the maximum fault current on the load side of the secondary side protective device.

Finally, where it is seen that the desired degree of coordination has not been achieved, the selection or setting of the source side overcurrent protective device may be re-examined. Similarly, the maximum rating of the secondary side fuse-link(s) may need to be reduced for the same reasons.

NOTE Cold load pick-up: Some users have a requirement for the high-voltage fuse to withstand cold load pick-up conditions. These may arise due to the loss of load diversity following re-connection and to the higher current drawn by some system components when cold. No standardized values exist for such conditions and such withstand may well conflict with the requirements of Clause 5c). Such conflict of requirements may be resolved by discussion between user and fuse manufacturer.

6 Other ratings and requirements

6.1 Rated voltage

See 4.2 and 9.3.4 of IEC 60282-1.

6.2 Rated maximum breaking current

See 4.8.1 of IEC 60282-1.

6.3 Rated minimum breaking current and class:

See 4.8.2 of IEC 60282-1 and below:

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

6.3.1 Fuse-links used in combination or association with other switching devices

Minimum breaking current need only be low enough to ensure correct coordination with the switching device of the combination. Back-Up fuses are generally used for this application.

a) utilisation dans des combinaisons à déclenchement par perceur

Dans des applications où le fonctionnement du perceur du fusible assure le fonctionnement instantané du mécanisme de déclenchement associé, le transfert automatique de la coupure dans des conditions de faible défaut, du fusible à l'appareillage de connexion associé, est assuré. Les fusibles associés peuvent être utilisés pour cette application et il est uniquement nécessaire de s'assurer que le courant de coupure minimal du fusible est inférieur au pouvoir de coupure maximal de l'appareillage de connexion associé.

b) utilisation dans l'appareillage de connexion fonctionnant avec un relais

Dans de telles applications les fusibles associés peuvent être utilisés et il est seulement nécessaire de s'assurer que les caractéristiques de temps-courant du fusible et du relais de l'appareillage de connexion associé se recoupent à une valeur de courant supérieure au courant minimal de coupure du fusible.

Se reporter à la CEI 62271-105, Combinés interrupteurs-fusibles à haute tension, à la CEI 62271-107, Circuits-switchers fusibles de tension assignée supérieure à 1 kV et jusqu'à 52 kV inclus, à la CEI 60470, Contacteurs pour courant alternatif à haute tension et démarreurs de moteurs à contacteurs, pour les applications normalisées du a) et b) ci-dessus.

En principe, les lignes directrices du a) et b) s'appliquent également aux fusibles utilisés sous d'autres formes d'association ou de combinaison avec un appareillage de connexion.

6.3.2 Eléments de remplacement utilisés comme la seule protection du côté haute tension du transformateur

Pour des applications où l'on peut démontrer par calcul ou par expérience acquise en service que les faibles valeurs de défauts sont improbables, alors des fusibles associés adaptés peuvent être utilisés. Dans ce cas, il est nécessaire de s'assurer que le courant minimal de coupure assigné de l'élément de remplacement est inférieur au plus petit courant de défaut HT susceptible de se produire en raison d'un défaut situé entre les fusibles à haute tension et le(les) dispositif(s) de protection à basse tension.

Les applications pour lesquelles l'expérience ou le calcul indique qu'il peut y avoir de très faibles surintensités (c'est-à-dire inférieures au courant minimal de coupure des fusibles associés), alors il convient d'utiliser des fusibles à usage général ou à coupure intégrale.

Les fusibles à coupure intégrale sont particulièrement recommandés pour les applications où les surintensités de courant peuvent être aussi faibles que le courant minimal de fusion du fusible ou lorsque le fusible doit être déclassé pour être utilisé dans une enveloppe.

Pour un fusible à usage général, il convient de vérifier que le courant de fusion de 1 h (ou le courant de coupure minimal s'il est assigné par le constructeur), et pour un fusible à coupure intégrale que le courant minimal de fusion, du fusible choisi n'est pas supérieur à la valeur de la surintensité à prendre en compte.

6.3.3 Eléments de remplacement utilisés pour la protection contre les courts-circuits conjointement avec des éléments de remplacement à expulsion

Il suffit que le courant minimal de coupure soit inférieur au courant de recouvrement des éléments de remplacement montés en série. Les valeurs de courant minimal de coupure assigné varient largement selon la conception de cet ensemble. Des fusibles associés sont normalement utilisés pour cette application.

a) use in striker-tripped combinations

In applications where operation of the fuse striker ensures instantaneous operation of the associated tripping mechanism, automatic transfer of breaking duty under low fault conditions from the fuse to the associated switchgear is assured. Back-Up fuses can be used for this application and it is only necessary to ensure that the fuse minimum breaking current is lower than the maximum breaking capacity of the associated switchgear.

b) use in relay-operated switchgear

In such applications Back-Up fuses may be used and it is only necessary to ensure that the time-current characteristics of fuse and associated switchgear relay intersect at a value of current above the minimum breaking current of the fuse.

Refer to IEC 62271-105, Alternating current switch-fuse combinations, to IEC 62271-107, Alternating current fused circuit-switchers for rated voltages above 1 kV (up to and including 52 kV, and to IEC 60470, High-voltage alternating current contactors and contactor-based motor-starters, for standardized applications of a) and b) above.

In principle, the guidance of a) and b) applies also to fuses used in other forms of association or combination with switchgear.

6.3.2 Fuse-links used as the only protection on the HV side of the transformer

For applications where it can be shown by calculation or by service experience that low fault levels are unlikely to occur, then suitable Back-Up fuses may be used. In this case it is necessary to ascertain that the rated minimum breaking current of the fuse link is less than the smallest HV fault current likely to occur due to a fault located between the high-voltage fuses and the low-voltage protecting device(s).

For applications where experience or calculation indicates there is a possibility of very low values of overcurrents (i.e. below the minimum breaking current of Back-Up fuses) then General-Purpose or Full-Range fuses should be employed.

The latter class of fuse is especially recommended for applications where overcurrents can occur at values as low as the fuse minimum melting current or where the fuse has to be de-rated for use in an enclosure.

It should be checked that for a General Purpose fuse the 1 h-melting current (or the minimum breaking current if rated by the manufacturer), and for a Full Range fuse the minimum melting current, of the selected fuse is not above the value of the overcurrent to be considered.

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

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