

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
60724**

Deuxième édition
Second edition
1984-01

**Guide aux limites de température de court-circuit
des câbles électriques de tension assignée au plus
égale à 0,6 / 1,0 kV**

**Guide to the short-circuit temperature limits
of electric cables with a rated voltage
not exceeding 0.6 / 1.0 kV**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60724: 1984

Numéros des publications

Les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000 dès le 1er janvier 1997.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant 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.

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Accès en ligne*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Accès en ligne)*

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (IEV).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from the 1st January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

Validity of this publication

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 the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
On-line access*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line access)*

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60724

Deuxième édition
Second edition
1984-01

**Guide aux limites de température de court-circuit
des câbles électriques de tension assignée au plus
égale à 0,6 / 1,0 kV**

**Guide to the short-circuit temperature limits
of electric cables with a rated voltage
not exceeding 0.6 / 1.0 kV**

© IEC 1984 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
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

M

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Facteurs gouvernant l'application des limites de température	8
3. Calcul des courants de court-circuit admissibles	8
4. Influence du mode d'installation	10
5. Conseils pour la conception des accessoires	12
6. Températures maximales de court-circuit admissibles pour les câbles de tension assignée au plus égale à 0,6/1,0 kV	14
ANNEXE A — Facteurs affectant les essais de court-circuit des câbles et de leurs accessoires	18

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1. Scope	7
2. Factors governing the application of the temperature limits	9
3. Calculation of permissible short-circuit currents	9
4. Influence of method of installation	11
5. Guidance on design of accessories	13
6. Maximum permissible short-circuit temperatures for cables with a rated voltage not exceeding 0.6/1.0 kV	15
APPENDIX A — Factors that affect short-circuit testing of cables and their accessories . .	19

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE AUX LIMITES DE TEMPÉRATURE DE COURT-CIRCUIT DES Câbles Électriques DE TENSION ASSIGNÉE AU PLUS ÉGALE À 0,6/1,0 kV

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la C E I, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la C E I et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 20A: Câbles de haute tension, du Comité d'Etudes n° 20 de la C E I: Câbles électriques.

Cette deuxième édition comporte l'annexe A et remplace la première édition de la Publication 724, parue en 1982.

Le texte de cette norme est issu de la première édition et des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
20A(BC)92	20A(BC)95

Pour de plus amples renseignements, consulter le rapport de vote mentionné dans le tableau ci-dessus.

Les publications suivantes sont citées dans la présente norme:

- Publications n° 287 (1982): Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent (facteur de charge 100%).
- 502 (1983): Câbles de transport d'énergie isolés par diélectriques massifs extrudés pour des tensions assignées de 1 kV à 30 kV.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**GUIDE TO THE SHORT-CIRCUIT TEMPERATURE LIMITS
OF ELECTRIC CABLES WITH A RATED VOLTAGE
NOT EXCEEDING 0.6/1.0 kV**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 20A: High-voltage Cables, of IEC Technical Committee No. 20: Electric Cables.

This second edition includes Appendix A and replaces the first edition of Publication 724, issued in 1982.

The text of this standard is based upon the first edition and the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
20A(CO)92	20A(CO)95

Further information can be found in the Report on Voting indicated in the table above.

The following publications are quoted in this standard:

Publications Nos. 287 (1982): Calculation of the Continuous Current Rating of Cables (100% Load Factor).

502 (1983): Extruded Solid Dielectric Insulated Power Cables for Rated Voltages from 1 kV up to 30 kV.

GUIDE AUX LIMITES DE TEMPÉRATURE DE COURT-CIRCUIT DES CÂBLES ÉLECTRIQUES DE TENSION ASSIGNÉE AU PLUS ÉGALE À 0,6/1,0 kV

INTRODUCTION

Quatre aspects peuvent être considérés lorsqu'on définit le régime de court-circuit d'un réseau de câbles.

- 1) Les limites maximales admissibles de température de l'âme, de l'enveloppe isolante, de la gaine métallique ou non métallique et de l'armure. En pratique, l'énergie productrice de la température est habituellement exprimée par une valeur équivalente (I^2t) * afin que, pour un courant de court-circuit donné, la durée maximale admissible puisse être calculée.
- 2) Une valeur maximale de courant qui ne provoquera pas de défaut mécanique (par exemple un éclatement) dû aux efforts électrodynamiques. Indépendamment de toute limitation de température, cette valeur détermine un courant maximal qui ne doit pas être dépassé.
- 3) La tenue des jonctions et des extrémités aux valeurs limites de courant et de durée spécifiées pour le câble associé. Les accessoires doivent également présenter une résistance aux efforts thermomécaniques et électrodynamiques produits par le courant de court-circuit dans le câble.
- 4) L'influence du mode d'installation en ce qui concerne les trois aspects abordés ci-dessus.

Le premier aspect est traité en détail, et les limites données ne tiennent compte que du câble. L'application d'un seul court-circuit est supposée ne pas produire de dommage important au câble, mais des courts-circuits répétés peuvent finir par causer des dégâts. Des conseils sont donnés, quant cela est nécessaire, pour les points 3 et 4, principalement lorsque ces derniers concernent les efforts thermomécaniques dans les âmes et les écrans ou gaines métalliques.

Il n'est pas possible de fixer des limites complètes pour les jonctions et les extrémités, du fait que leur construction n'est pas normalisée et que leur comportement est variable. Lorsqu'on a besoin de la pleine possibilité de court-circuit du câble, les accessoires doivent être conçus de façon appropriée, mais cela n'est pas toujours justifié sur le plan économique et la possibilité de court-circuit d'un réseau de câbles est alors déterminée par le comportement de ses jonctions et de ses extrémités. Lorsque cela a été possible, des conseils ont été inclus à propos de la tenue requise pour les accessoires lorsque ces derniers sont montés sur des câbles utilisés aux limites de court-circuit indiquées dans ce guide.

Les limites concernant les câbles de tensions supérieures à 1 kV seront données dans une autre publication.

1. Domaine d'application

Le présent guide s'applique au régime de température maximale de court-circuit des câbles électriques de tension assignée au plus égale à 0,6/1,0 kV. Il donne des indications en ce qui concerne:

- les enveloppes isolantes;
- les matériaux de gainage et de bourrage;
- les matériaux de l'âme et de la gaine métallique et les constituants.

* I^2t (intégrale de Joule).

L'intégrale du carré du courant sur un intervalle de temps donné:

$$I^2t = \int_0^t i^2 dt$$

GUIDE TO THE SHORT-CIRCUIT TEMPERATURE LIMITS OF ELECTRIC CABLES WITH A RATED VOLTAGE NOT EXCEEDING 0.6/1.0 kV

INTRODUCTION

Four aspects may be considered when selecting the short-circuit rating of a cable system.

- 1) Permissible maximum temperature limits for conductor, insulation, metallic sheath, jacket and armour. For practical uses, the energy producing the temperature is usually expressed by an equivalent (I^2t) value* so that the permitted maximum duration for a given short-circuit current can be calculated.
- 2) A maximum value of current which will not cause mechanical failure (such as bursting) due to electromagnetic forces. Irrespective of any temperature limitations this determines a maximum current which must not be exceeded.
- 3) The performance of joints and terminations at the limits of current and duration specified for the associated cable. Accessories are also required to withstand the thermo-mechanical and electromagnetic forces produced by the short-circuit current in the cable.
- 4) The influence of the mode of installation on the above three aspects.

Aspect 1 is dealt with in detail, and the limits given are based on a consideration of the cable only. A single short-circuit application is not expected to produce any significant damage to the cable, but repeated short circuits may cause cumulative damage. Guidance is given, where appropriate, on aspects 3 and 4 chiefly as they concern thermomechanical forces in the conductors and sheath or screen.

It is not possible to provide complete limits for joints and terminations because their construction is not standardized and performance varies. Where the full short-circuit capability of the cable is required the accessories shall be designed appropriately, but this is not always economically justified and the short-circuit capability of a cable system may be determined by the performance of its joints and terminations. Where possible, guidance has been included on the performance required of accessories when they are associated with cables operated to the short-circuit limits given in this guide.

Limits for cables for voltage higher than 1 kV will be given in a succeeding publication.

1. Scope

This guide is applicable to the short-circuit maximum temperature rating of electric cables having a rated voltage not exceeding 0.6/1.0 kV. Guidance is given on the following:

- insulating materials;
- outer jacket and bedding materials;
- conductor and metallic sheath materials and components.

* I^2t (Joule integral).

The integral of the square of the current for a given time interval:

$$I^2t = \int_0^t i^2 dt$$

La conception des accessoires et l'influence du mode d'installation sur la limite de température sont prises en compte.

Des conseils sont également donnés sur le calcul du courant de court-circuit admissible par les constituants du câble qui écoulent le courant.

2. Facteurs gouvernant l'application des limites de température

Les températures de court-circuit indiquées à l'article 6 sont les températures réelles du constituant écoulant le courant, limitées par les matériaux voisins du câble, et sont valables pour des durées de court-circuit n'excédant pas 5 s. Ces températures ne seront atteintes en pratique que si l'on suppose l'échauffement non adiabatique (c'est-à-dire si l'on prend en compte la dissipation de la chaleur dans l'isolant pendant le court-circuit) lorsqu'on calcule le courant de court-circuit admissible pour une durée donnée (n'excédant pas 5 s). L'emploi de la méthode adiabatique (c'est-à-dire lorsqu'on néglige la dissipation de la chaleur pendant le court-circuit) donne des courants de court-circuit qui vont dans le sens de la sécurité. La durée de 5 s mentionnée est la limite pour la validité des températures indiquées, et non pour l'application de la méthode de calcul adiabatique. La durée limite pour l'application de la méthode adiabatique a une définition différente, car elle est fonction à la fois de la durée du court-circuit et de la section du constituant écoulant le courant. Ceci sera traité dans une publication ultérieure concernant les méthodes non adiabatiques de calcul des courants de court-circuit.

Pour les matériaux isolants thermoplastiques, les limites doivent être utilisées avec prudence lorsque les câbles sont soit directement enterrés, soit solidement bridés lorsqu'ils sont installés dans l'air. La pression locale due au bridage ou l'utilisation d'un rayon de courbure inférieur à huit fois le diamètre extérieur du câble peut provoquer des efforts considérables en régime de court-circuit, spécialement lorsque les câbles sont maintenus fermement. Lorsque ces conditions ne peuvent être évitées, il est conseillé de réduire la valeur limite de 10 °C. Les valeurs limites indiquées sont basées sur des qualités moyennes de polychlorure de vinyle (PVC) et une correction peut être nécessaire pour d'autres qualités, spécialement pour celles qui sont prévues afin d'améliorer les propriétés à basse température.

Il convient de prendre des précautions lorsque les limites recommandées sont relatives à des produits élastomères employés sur des âmes de fortes sections car les effets mécaniques importants pourraient provoquer une déformation susceptible d'entraîner un incident.

Il se peut que des précautions soient nécessaires pour les sections de l'ordre de 1 000 mm² lorsqu'on utilise les températures de l'âme spécifiées pour les enveloppes isolantes, telles que le papier imprégné, le butyle, le polyéthylène réticulé (XLPE) et le caoutchouc d'éthylène propylène (EPR), et que le câble comporte une gaine dont la tenue en température est inférieure.

3. Calcul des courants de court-circuit admissibles

La méthode adiabatique suivante, qui néglige la dissipation de chaleur, est valable pour les calculs des courants admissibles dans les âmes et les gaines métalliques dans la majorité des cas pratiques, toute erreur allant dans le sens de la sécurité. Cependant, pour les écrans minces, la méthode adiabatique fournit des échauffements bien supérieurs aux valeurs réelles et doit donc être utilisée avec prudence.

The design of accessories and the influence of the method of installation on the temperature limit are taken into consideration.

Guidance is also given on the calculation of the permissible short-circuit current in the current-carrying components of the cable.

2. Factors governing the application of the temperature limits

The short-circuit temperatures given in Clause 6 are the actual temperatures of the current-carrying component as limited by the adjacent materials in the cable and are valid for short-circuit durations of up to 5 s. These temperatures will only be obtained in practice if non-adiabatic heating is assumed (that is, an appropriate allowance for heat loss into the dielectric during the short circuit is made) when calculating the allowable short-circuit current for a given time (not longer than 5 s). The use of the adiabatic method (that is, when heat loss from the current-carrying component during the short circuit is neglected) gives short-circuit currents that are on the safe side. The 5 s time-period quoted is the limit for the temperatures quoted to be valid, not for the application of the adiabatic calculation method. The time limit for the use of the adiabatic method has a different definition, being a function of both the short-circuit duration and the cross-sectional area of the current-carrying component. This will be dealt with in a succeeding publication on non-adiabatic methods of calculating short-circuit currents.

For thermoplastic insulating materials the limits must be applied with caution when the cables are either directly buried or securely clamped when in air. Local pressure due to clamping or the use of an installation radius less than eight times the cable outside diameter, especially for cables that are rigidly restrained, can lead to high deforming forces under short-circuit conditions. Where these conditions cannot be avoided it is suggested that the limit be reduced by 10 °C. The limits quoted are based on average hardness grades of polyvinyl chloride (PVC) and some adjustment may be necessary for other grades, especially those compounded for improved low-temperature properties.

Caution should be exercised when using the limits recommended for thermosetting materials on large conductors because the high mechanical forces combined with any residual characteristics could result in deformation sufficient to cause failure.

Caution may be needed with total cross-sectional areas in the region of 1 000 mm² when using the conductor temperatures specified for impregnated paper, butyl, cross-linked polyethylene (XLPE) and ethylene propylene rubber (EPR) insulation and the cable is sheathed with a lower temperature material.

3. Calculation of permissible short-circuit currents

The following adiabatic method, which neglects heat loss, is accurate enough for calculating permissible conductor and metallic sheath short-circuit currents for the majority of practical cases and any error is on the safe side. However, for thin screens the adiabatic method indicates much higher temperature rises than actually occur in practice and thus must be used with some discretion.

La formule de l'échauffement adiabatique, qui est applicable à toute température initiale, se présente sous la forme générale suivante:

$$(I^2t) = K^2 S^2 \ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)$$

où

I = courant de court-circuit (valeur efficace pendant la durée) (ampères)

t = durée du court-circuit (secondes)

K = constante dépendant du matériau du constituant écouant le courant ($\text{As}^{1/2}/\text{mm}^2$)

$$K = \sqrt{\frac{Q_c (\beta + 20)}{\rho_{20}}}$$

où

Q_c = chaleur spécifique du constituant écouant le courant par unité de volume à 20 °C ($\text{J}/^\circ\text{C} \cdot \text{mm}^3$)

ρ_{20} = résistivité à 20 °C du métal écouant le courant ($\Omega \cdot \text{mm}$)

S = section d'écoulement du courant (mm^2). Pour les âmes et les gaines métalliques, on peut se contenter de prendre la section nominale (dans le cas des écrans, l'utilisation de cette grandeur doit se faire avec prudence)

θ_f = température finale (°C)

θ_i = température initiale (°C)

β = inverse du coefficient de variation de la résistance du constituant pris à 0 °C (°C)

$\ln$ = $\log_e$

Les constantes utilisées dans la formule ci-dessus sont données dans le tableau suivant:

Matériau	$K^{1)}$ ($\text{As}^{1/2}/\text{mm}^2$)	$\beta^{2)}$ (°C)	$Q_c^{3)}$ ($\text{J}/^\circ\text{C} \cdot \text{mm}^3$)	$\rho_{20}^{2)}$ ($\Omega \cdot \text{mm}$)
Cuivre	226	234,5	$3,45 \times 10^{-3}$	$17,241 \times 10^{-6}$
Aluminium	148	228	$2,5 \times 10^{-3}$	$28,264 \times 10^{-6}$
Plomb	41	230	$1,45 \times 10^{-3}$	214×10^{-6}
Acier	78	202	$3,8 \times 10^{-3}$	138×10^{-6}

¹⁾ Valeurs obtenues à partir de la formule.

²⁾ Valeurs extraites du tableau I de la Publication 287 de la C E I: Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent (facteur de charge 100%).

³⁾ Valeurs extraites d'*Electra*, n° 24, octobre 1972.

4. Influence du mode d'installation

Lorsqu'on a l'intention d'utiliser au mieux les valeurs limites de court-circuit d'un câble, on doit prêter attention à l'influence du mode d'installation. Un des aspects importants concerne l'étendue et la nature de la contrainte mécanique imposée au câble. La dilatation longitudinale d'un câble pendant un court-circuit peut être appréciable et lorsque cette dilatation est contrecarrée, les forces qui en résultent sont considérables.

En ce qui concerne les câbles posés à l'air, il est conseillé de les installer de telle façon que la dilatation soit absorbée uniformément dans le sens longitudinal en les faisant serpenter, plutôt qu'en ne permettant à cette dilatation d'être atténuée par des déplacements excessifs qu'en quelques points seulement. Les fixations doivent être suffisamment espacées pour permettre un mouvement latéral des câbles multipolaires ou des groupes de câbles unipolaires.

Lorsque les câbles sont enterrés directement ou doivent être maintenus par des fixations fréquentes, des dispositions doivent être prises pour adapter aux extrémités et aux jonctions les efforts longitudinaux qui en résultent. Les courbures prononcées doivent être évitées, les

The generalized form of the adiabatic temperature-rise formula which is applicable to any starting temperature is:

$$(I^2t) = K^2 S^2 \ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)$$

where:

I = short-circuit current (r.m.s. over duration) (amperes)

t = duration of short circuit (seconds)

K = constant depending on the material of the current-carrying component ($\text{As}^{1/2}/\text{mm}^2$)

$$K = \sqrt{\frac{Q_c (\beta + 20)}{\varrho_{20}}}$$

where:

Q_c = volumetric specific heat of the current-carrying component at 20 °C ($\text{J}/^\circ\text{C} \cdot \text{mm}^3$)

ϱ_{20} = resistivity of the current-carrying component at 20 °C ($\Omega \cdot \text{mm}$)

S = cross-sectional area of the current-carrying component (mm^2). For conductors and metallic sheaths it is sufficient to take the nominal cross-sectional area (in the case of screens, this quantity requires careful consideration)

θ_f = final temperature (°C)

θ_i = initial temperature (°C)

β = reciprocal of temperature coefficient of resistance of the current-carrying component at 0 °C (°C)

$\ln$ = $\log_e$

The constants used in the above formula are given in the following table:

Material	$K^{1)}$ ($\text{As}^{1/2}/\text{mm}^2$)	$\beta^{2)}$ (°C)	$Q_c^{3)}$ ($\text{J}/^\circ\text{C} \cdot \text{mm}^3$)	$\varrho_{20}^{2)}$ ($\Omega \cdot \text{mm}$)
Copper	226	234.5	3.45×10^{-3}	17.241×10^{-6}
Aluminium	148	228	2.5×10^{-3}	28.264×10^{-6}
Lead	41	230	1.45×10^{-3}	214×10^{-6}
Steel	78	202	3.8×10^{-3}	138×10^{-6}

¹⁾ Values obtained from the formula.

²⁾ Values taken from Table I of IEC Publication 287: Calculation of the Continuous Current Rating of Cables (100% Load Factor).

³⁾ Values taken from *Electra*, No. 24, October 1972.

4. Influence of method of installation

When it is intended to make full use of the short-circuit limits of a cable, consideration should be given to the influence of the method of installation. An important aspect concerns the extent and nature of the mechanical restraint imposed on the cable. Longitudinal expansion of a cable during a short circuit can be significant and when this expansion is restrained the resultant forces are considerable.

For cables in air it is advisable to install them so that expansion is absorbed uniformly along the length by snaking rather than permitting it to be relieved by excessive movement at a few points only. Fixings should be spaced sufficiently far apart to permit lateral movement of multi-core cables or groups of single-core cables.

Where cables are buried directly in the ground, or must be restrained by frequent fixing, then provision must be made to accommodate the resulting longitudinal forces on terminations and joint boxes. Sharp bends should be avoided because the longitudinal forces are

efforts longitudinaux étant convertis en pressions radiales dans les parties courbes du tracé du câble, et ces pressions peuvent endommager les constituants thermoplastiques du câble tels que gaines et enveloppes isolantes. L'attention doit être attirée sur le rayon de courbure minimal préconisé par les règles d'installation. Pour les câbles installés dans l'air, il est également souhaitable d'éviter les fixations dans les courbures susceptibles d'exercer une pression locale sur le câble.

5. Conseils pour la conception des accessoires

On doit veiller à la conception et à l'installation des jonctions et des extrémités si l'on veut appliquer de façon sûre les valeurs limites de court-circuit présentées dans ce guide. Les remarques suivantes ne sont pas exhaustives et ne sont données qu'à titre indicatif. Il est souhaitable que la tenue d'un accessoire soit considérée dans le contexte particulier de son installation.

- 1) La poussée longitudinale des âmes peut être considérable selon le degré de contrainte latérale imposée au câble. Les valeurs peuvent aisément atteindre 50 N/mm^2 de section d'âme. Ces efforts peuvent provoquer le flambage des conducteurs ainsi que d'autres incidents dans une jonction ou une extrémité.
- 2) La tension longitudinale des âmes est également prévisible après un court-circuit. Cette tension peut persister pendant une durée très longue, en particulier si le câble n'est que partiellement chargé après le court-circuit. Une valeur minimale de 40 N/mm^2 de section d'âme devrait être retenue pour la conception des accessoires.
- 3) Avec les câbles isolés au papier imprégné, la dilatation de l'imprégnation peut provoquer une pression importante. S'il y a des fuites de matière au niveau des jonctions et des extrémités, cela peut provoquer un ramollissement des bourrages bitumineux. L'humidité peut également pénétrer dans l'accessoire et le câble en quantité suffisante pour affecter la tenue de l'isolant.
- 4) L'utilisation d'une température limite implique seulement que toute combinaison temps-courant qui conduit à des températures n'excédant pas cette valeur limite soit admissible. Pour les courants de court-circuit cela n'est pas suffisant. Une limite supplémentaire doit être fixée pour la valeur de crête du courant de façon à éviter des efforts électrodynamiques excessifs. Ces efforts sont particulièrement importants au niveau des extrémités et un support approprié est nécessaire si l'on veut éviter tout mouvement indésirable et toute détérioration.
- 5) Les raccords brasés à l'étain ne doivent pas être utilisés si on envisage des températures d'âmes supérieures à 160°C .
- 6) L'attention est attirée sur la nécessité d'examiner la stabilité en court-circuit de la résistance électrique de tous les raccords à serrage mécanique et serre-fils utilisés pour le raccordement des âmes et les connexions d'armures et de gaines métalliques. Les connexions d'armures et de gaines doivent avoir des caractéristiques thermiques appropriées.
- 7) Les brins d'un neutre périphérique ainsi que les fils d'armure, lorsqu'ils sont réunis au niveau d'une jonction ou d'une extrémité, peuvent conduire à une tenue en court-circuit inférieure à celle qu'ils ont dans le câble. Pour de tels raccordements, l'échauffement supposé ne doit pas être excessif eu égard aux matériaux employés, et un support mécanique adéquat doit être envisagé.

translated into radial pressures at bends in the cable route and these may damage thermo-plastic components of the cable such as insulation and sheaths. Attention is drawn to the minimum radius of installed bend recommended by the appropriate installation regulations. For cables in air it is also desirable to avoid fixings at a bend which may cause local pressure on the cable.

5. Guidance on design of accessories

Attention must be given to the design and installation of joints and terminations if the short-circuit limits set out in this guide are to be safely realized. The following notes are not exclusive and are provided for guidance only. It is desirable that the performance of an accessory is considered in the context of the particular installation.

- 1) Longitudinal thrust in cable conductors can be considerable depending on the degree of lateral restraint imposed on the cable. Values as high as 50 N/mm^2 of conductor section can easily occur. These forces may cause buckling of conductors and other damage in a joint or termination.
- 2) Longitudinal tension in cable conductors is also to be expected after a short circuit. This tension may exist for a very long period, particularly if the cable is only partly loaded after the short circuit. A minimum value of 40 N/mm^2 of conductor section should be used for design purposes.
- 3) With impregnated paper cables compound expansion can give rise to considerable fluid pressure. If compound leaks out at joints and terminations it could cause softening of the bitumen filling. Moisture may also be drawn back into the accessory and cable in a sufficient quantity to affect the performance of the insulation.
- 4) The use of a temperature limit only implies that any combination of current and time which produces temperatures not exceeding that limit is permissible. For short-circuit currents this is not sufficient. An additional limit shall be set for the peak value of the current in order to avoid excessive electromagnetic forces. These forces are of particular importance at terminations and proper support is necessary to avoid undesirable movement and damage.
- 5) Soldered joints should not be used if conductor temperatures greater than 160°C are contemplated.
- 6) Attention is drawn to the need to examine the design for short-circuit stability of the electrical resistance of all mechanical joints and clamps used for jointing conductors and connecting armour and sheath bonds. Armour and sheath bonds shall have adequate thermal capacity.
- 7) Concentric neutral conductors and armour wires, when gathered together at a joint or termination, may have a lower short-circuit performance than when in the cable. At such connections the expected temperature rise should not be excessive for the materials involved and adequate mechanical support should be provided.

6. Températures maximales de court-circuit admissibles pour les câbles de tension assignée au plus égale à 0,6/1,0 kV

Les tableaux doivent être lus en liaison avec les commentaires de l'article 2.

Les valeurs indiquées représentent les températures réelles du constituant qui écoule le courant.

Les limites concernent les court-circuits d'une durée au plus égale à 5 s.

Les trois paragraphes suivants doivent être pris en considération lorsqu'on définit une température limite pour une construction de câble donnée.

6.1 *Enveloppes isolantes*, c'est-à-dire température limite pour tous les types d'âmes en contact avec les matériaux isolants spécifiés.

Matériau	Température (°C)
Papier	250
PVC	160
– jusqu'à 300 mm ² inclus	140
– au-dessus de 300 mm ²	220
Caoutchouc butyle	200
Caoutchouc naturel	250
XLPE	250
EPR	350
Caoutchouc silicone	350

6.2 *Matériaux de gainage et de bourrage*, en l'absence de prescriptions électriques ou autres, c'est-à-dire température limite de l'écran, de la gaine métallique ou de l'armure lorsque ceux-ci sont en contact avec les matériaux de la gaine extérieure mais séparés thermiquement de l'isolant au moyen de couches de matériaux appropriés et d'une épaisseur suffisante. Si une telle séparation thermique n'est pas prévue, il convient d'utiliser la température limite de l'enveloppe isolante si elle est inférieure à celle de la gaine.

6.2.1 *Ecran ou gaine métallique continu, ou fils d'armure contigus*

Matériau	Température (°C)
PVC	200
PE	150
CSP	220
SE1 *	200

* Le matériau SE1 est défini dans la Publication 502 de la C E I: Câbles de transport d'énergie isolés par diélectriques massifs extrudés pour des tensions assignées de 1 kV à 30 kV, comme une «classe de mélanges élastomères pour gaines à base de polychloroprène, polyéthylène chlorosulfoné ou polymères similaires».

6.2.2 *Fils d'écran non contigus*

A l'étude.

6. **Maximum permissible short-circuit temperatures for cables with a rated voltage not exceeding 0.6/1.0 kV**

These tables should be read in conjunction with the comments in Clause 2.

Values given are actual temperatures of the current-carrying components.

Limits are for short circuits of up to 5 s duration.

The following three sub-clauses shall be considered when selecting a temperature limit for a particular cable construction.

6.1 *Insulating materials*, i.e. temperature limit for all types of conductor when in contact with the insulating materials specified.

Material	Temperature (°C)
Paper	250
PVC	
– up to and including 300 mm ²	160
– greater than 300 mm ²	140
Butyl rubber	220
Natural rubber	200
XLPE	250
EPR	250
Silicone rubber	350

6.2 *Outer jacket and bedding materials where there are no electrical or other requirements* i.e. screen/sheath/armour temperature limit when in contact with the outer jacket materials but thermally separated from the insulation by layers of suitable material and sufficient thickness. If thermal separation is not provided, the temperature limit of the insulation should be used if it is lower than that of the jacket.

6.2.1 *Continuous screen/sheath or a complete layer of armour wires*

Material	Temperature (°C)
PVC	200
PE	150
CSP	220
SEI *	200

* Material SEI is defined in I E C Publication 502: Extruded Solid Dielectric Insulated Power Cables for Rated Voltages from 1 kV up to 30 kV, as a “sheathing class of elastomeric compound based on polychloroprene, chlorosulfonated polyethylene or similar polymers”.

6.2.2 *Spaced screen wires*

Under consideration.

6.3 Matériaux d'âme et de gaine métallique et constituants

Note. — Les limitations relatives aux matériaux en contact avec ces métaux doivent également être prises en compte.

Métaux	Condition	Température (°C)
Cuivre et aluminium	Âme seulement ¹⁾	2)
	Raccord soudé (autogène)	2)
	Raccord soudé par réaction exothermique	250 ³⁾
	Raccord brasé à l'étain	160
	Raccord à déformation mécanique	250 ³⁾
Plomb Alliage de plomb Acier	Raccord à serrage mécanique	4)
		170
		200 ²⁾

¹⁾ Ainsi que les conducteurs de neutre périphériques.

²⁾ Limitée par le matériau avec lequel on est en contact.

³⁾ Température de l'âme voisine, le raccord étant à une température inférieure.

⁴⁾ Se référer aux recommandations des constructeurs.

6.3 Conductors and metallic sheath materials and components

Note. — Limitations of materials in contact with these metals shall also be considered.

Metal	Condition	Temperature (°C)
Copper and aluminium	Conductor only ¹⁾	2)
	Welded joint	2)
	Exothermic welded joint	250 ³⁾
	Soldered joint	160
	Compression (mechanical deformation) joint	250 ³⁾
	Mechanical (bolted) joint	4)
Lead		170
Lead alloy		200
Steel		2)

¹⁾ Includes concentric neutral conductors.

²⁾ Limited by the material it is in contact with.

³⁾ Temperature of adjacent conductor, actual joint will be at a lower temperature.

⁴⁾ Refer to manufacturers' recommendations.

ANNEXE A

FACTEURS AFFECTANT LES ESSAIS DE COURT-CIRCUIT
DES Câbles ET DE LEURS ACCESSOIRES

A1. Introduction

Un câble soumis à un court-circuit se comporte d'une façon très complexe. La plupart des résultats publiés relatifs à des essais de court-circuit ne sont pas exploitables, bien que de nombreux détails relatifs à la méthode d'essai soient habituellement mentionnés, car différents critères sont utilisés lorsque l'essai est réalisé. Ainsi, les essais de court-circuit doivent être conçus avec soin afin de s'assurer que le paramètre limite particulier prescrit (température ou courant de court-circuit) est obtenu avec précision. Un essai unique ne donne pas nécessairement toutes les conditions limites et, à moins qu'il ne soit conçu avec soin, peut ne pas donner une limite véritable, même pour une condition unique s'il existe une interaction entre les divers paramètres limites. Cependant, un essai conçu pour étudier un facteur précis peut être utilisé avec précaution pour juger de l'effet des autres facteurs et, par conséquent, permettre de réduire le nombre d'essais nécessaires.

L'article suivant indique les facteurs principaux qui doivent être pris en considération lorsqu'on entreprend des essais de court-circuit de câbles et d'accessoires. La liste n'est pas exhaustive, mais couvre les facteurs les plus importants. L'objet de cette annexe est d'encourager à la réalisation d'essais de court-circuit dans des conditions réalistes. On ne se propose pas de définir un essai de court-circuit mais simplement de donner des indications sur les variables qui doivent être prises en compte. On espère que la diffusion de cette liste de facteurs permettra une interprétation plus aisée des résultats d'essais de court-circuit publiés dans le futur.

Pour des questions de commodité les facteurs sont groupés en trois catégories, c'est-à-dire:

- a) Considérations préliminaires (paragraphe A2.1).
- b) Essai de court-circuit proprement dit (paragraphe A2.2).
- c) Après le court-circuit (paragraphe A2.3).

A2. Facteurs affectant les essais de court-circuit

A2.1 *Considérations préliminaires*A2.1.1 *Préparation de l'échantillon*A2.1.1.1 *Méthode d'installation*

La façon de disposer l'échantillon dépend de la méthode d'installation à simuler et de l'information recherchée, c'est-à-dire soit limitations thermiques (température limite eu égard à la détérioration chimique ou au vieillissement), soit limitations thermomécaniques (température limite déterminée par les efforts de dilatation longitudinaux du conducteur agissant soit sur l'isolant soit sur les accessoires), soit limitations électrodynamiques (valeur de crête limite du courant pour éviter l'éclatement du câble), soit une combinaison de ces limitations. Ainsi, l'échantillon peut être libre, fixé (par exemple par du bois, du métal avec fourrure en

APPENDIX A

FACTORS THAT AFFECT SHORT-CIRCUIT TESTING OF CABLES AND THEIR ACCESSORIES

A1. Introduction

A cable that is subjected to a short circuit behaves in a very complex manner. The majority of published results on short-circuit testing are irreconcilable, even though full details of the test method are usually included, because different criteria were used when the testing was undertaken. Thus short-circuit tests should be very carefully designed to ensure that the particular limiting parameter (temperature or short-circuit current) required is accurately obtained. A single test does not necessarily give all the limiting conditions and, unless carefully designed, may not give a true limit for even a single condition if interaction between the various parameters is present. However, a test designed to elucidate one particular factor can, with care, be used to judge the effect of other factors and hence reduce the number of tests required.

The following clause gives the major factors that should be considered when undertaking short-circuit testing of cables and accessories. The list is not exhaustive, but it covers the most important factors. The object of this appendix is to encourage short-circuit testing under realistic conditions. It is not in any way meant to define a short-circuit test, but only to give guidance on the variables that need to be considered. It is hoped that the circulation of this list of factors will allow easier reconciliation of future published short-circuit test results.

For convenience the factors are grouped into three categories:

- a) Preliminary consideration (Sub-clause A2.1).
- b) Actual short-circuit testing (Sub-clause A2.2).
- c) After the short-circuit test (Sub-clause A2.3).

A2. Factors that affect short-circuit testing

A2.1 Preliminary consideration

A2.1.1 Sample preparation

A2.1.1.1 Method of installation

The method of supporting the sample depends on the installation method being simulated and the information required, i.e. thermal limitations (the temperature limit for chemical deterioration or ageing), thermomechanical limitations (the temperature limit determined by conductor longitudinal expansion forces acting on either the insulation or the accessories) or electrodynamic limitations (the limit value of peak current to avoid bursting of the cable), or a combination of these. Thus the sample could be free, cleated (e.g. by wood, metal with rubber inserts) or fully restrained as in firm soil. Alternatively it could be partially restrained

caoutchouc) ou entièrement maintenu comme dans un sol compact. En variante, il peut être partiellement maintenu en l'installant dans un conduit simulé. Une courbe doit toujours être prévue. L'installation sera également influencée par le type de câbles, multipolaires ou unipolaires (en nappe ou en trèfle).

A2.1.1.2 *Longueur des échantillons*

La simulation de grandes longueurs par des échantillons courts doit être entreprise avec beaucoup de précautions sauf si l'on doit étudier seulement la caractéristique de détérioration chimique. Des contraintes mécaniques peuvent être prévues pour simuler les conditions de service (c'est-à-dire des efforts réprimés dus aux dilatations longitudinales non libérées en chauffage), si la longueur nécessaire pour développer la pleine valeur de cet effort mécanique ne peut être essayée. L'amplitude de ces efforts dépend à la fois du matériau de l'âme et de la constitution.

A2.1.1.3 *Etat des câbles*

Les câbles ayant été en service auront de plus faibles efforts de dilatation résiduels à cause de la relaxation en fonction du temps. Celle-ci intervient après quelques cycles de charge seulement. Ainsi, il y a lieu de considérer sous quelle forme le câble doit être essayé, neuf ou après avoir été en service.

A2.1.1.4 *Raccordement des extrémités*

Lorsqu'un câble seul doit être essayé, les extrémités d'essais doivent être suffisamment robustes pour supporter (sans déplacement ou réduction des efforts longitudinaux) les températures de court-circuit et les efforts longitudinaux et éclatements produits, mais ne doivent pas avoir d'influence sur le comportement de l'échantillon.

A2.1.1.5 *Accessoires*

Lorsque des accessoires sont essayés, le mode d'installation doit être soigneusement pris en compte. Une jonction doit être soumise aux plus grands efforts thermomécaniques possibles. Ainsi, jonction et câble adjacent doivent être solidement fixés; la longueur du câble de part et d'autre devra être appropriée, sans courbe, sinon des efforts mécaniques longitudinaux extérieurs devront être appliqués. Il est généralement plus rationnel d'essayer les accessoires séparément du câble.

A2.1.2 *Appareils de mesure*

La méthode de mesure de l'échauffement nécessite une réflexion circonspecte et doit être très précise. La variation de la résistance est la plus précise, mais elle est généralement limitée aux essais en courant continu. L'utilisation de thermocouples pose de nombreux problèmes: temps de montée, pérennité du contact thermique, interférence par induction ou conduction avec les liaisons de mesures (dus aux courants importants), validité de la température réelle mesurée puisqu'elle dépend de la position sur le conducteur (la résistivité thermique de l'âme est suffisamment élevée pour affecter le transfert de chaleur lors de courts-circuits de durées normales), type d'appareil enregistreur.

Les capteurs de pression et les appareils doivent pouvoir mesurer des efforts transitoires.

by installing in a simulated duct. A bend should always be included. The type of cable will also influence the preparation, i.e. multicore cables or single-core cables (flat or trefoil).

A2.1.1.2 *Length of samples*

The simulation of long lengths by short samples should be undertaken with great care unless only the chemical deterioration feature is being studied. Mechanical stressing may be required to simulate operating conditions (i.e. restrained forces due to unrelieved longitudinal expansion on heating) if the length necessary to develop the full value of this mechanical force cannot be tested. The magnitude of these forces depends on both the conductor material and the construction.

A2.1.1.3 *State of cables*

Cables that have been in service will have lower unrelieved expansion forces due to relaxation with time. This relaxation occurs after only a few load cycles. Thus the test should take into consideration whether the cable is being tested new or after being in operation.

A2.1.1.4 *Connection to terminations*

The test terminations, where a cable alone is being tested, should be strong enough to withstand (without either moving or allowing relief to the longitudinal forces) the short-circuit temperatures and longitudinal and bursting forces produced, but should have no influence on the sample response.

A2.1.1.5 *Accessories*

Where accessories are included in the test the support method should be carefully considered. A joint should be subjected to the maximum thermomechanical forces possible. Thus the joint and the adjacent cable should be rigidly restrained; the cable length on either side being of adequate length with no bends, or else external longitudinal mechanical forces must be applied. It is usually more convenient to test accessories separately from the cable.

A2.1.2 *Instrumentation*

The method of temperature-rise measurement needs careful thought and should be very accurate. Change in resistance is the most accurate, but is generally limited to d.c. tests. The use of thermocouples poses many problems; rise time, thermal contact integrity, induced and conducted interference in measurement leads (from high test currents), reliability of actual measured temperature as it depends on the position on the conductor (the thermal resistivity of the conductor is high enough to affect heat transfer at normal short-circuit durations), and type of recording instrument.

The pressure transducers and instrumentation must be capable of measuring transient forces.

Les appareils de mesure des courants de court-circuit doivent être appropriés et précis pour les mesures transitoires, en particulier pour les essais de très courte durée (c'est-à-dire moins d'une période lorsqu'on envisage des protections par fusibles).

A2.2 *Essai de court-circuit proprement dit*

A2.2.1 *Source du courant de court-circuit*

Le court-circuit peut être appliqué à partir d'une source triphasée ou monophasée. Le choix doit être fait avec soin car différents effets peuvent être mis en évidence dans un câble multipolaire, suivant qu'on simule un défaut entre phases par un courant monophasé ou triphasé.

A2.2.2 *Forme du courant de court-circuit*

La forme du courant peut être soit symétrique soit asymétrique en fonction du facteur de puissance du circuit et de l'instant précis où le court-circuit est appliqué. Le paramètre limite à étudier déterminera si une forme symétrique ou asymétrique doit être retenue.

Pour les limites thermiques et thermomécaniques, un courant d'amplitude constante est idéal, mais cela n'est pas toujours possible en pratique du fait du chauffage de l'échantillon, de l'asymétrie, etc., et, de ce fait, le courant décroît en fonction du temps. Dans ces conditions, la valeur efficace du courant pendant la durée du court-circuit est la valeur à prendre en compte. Cette décroissance du courant doit également être prise en compte lors du réglage du courant présumé. Pour les limites électrodynamiques une asymétrie importante est préférable afin d'obtenir des valeurs de crête élevées. Dans ce cas, la valeur de crête du courant asymétrique est le paramètre important.

A2.2.3 *Facteurs limites*

Pour les courts-circuits dont la durée est de quelques périodes, les efforts électrodynamiques constituent habituellement le facteur limite, alors que la température ou les efforts thermomécaniques sont les facteurs limites pour des durées plus longues. Les efforts électrodynamiques et thermomécaniques ne sont généralement pas importants pour les âmes de section inférieure à 50 mm².

A2.2.4 *Température initiale*

La température en régime permanent avant l'application d'un court-circuit peut avoir un effet prononcé sur les résultats d'essais. Par exemple, à la température de fonctionnement, un câble non armé à gaine en polymère aura une plus faible résistance aux efforts électrodynamiques qu'à la température ambiante.

Ainsi la température initiale en régime établi doit être choisie en rapport avec les conditions particulières de fonctionnement du câble, et mesurée avec précaution.

A2.2.5 *Nombre de courts-circuits*

Un programme d'essai comprenant des courts-circuits uniques ou successifs (c'est-à-dire simulant les systèmes de réenclenchement automatique) doit être considéré, ainsi que, dans ce dernier cas, l'intervalle de temps entre les applications.