NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
949

Première édition
First edition
1988

Calcul des courants de court-circuit admissibles au plan thermique, tenant compte des effets d'un échauffement non adiabatique

Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects

Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 949: 1988

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

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 auprès du Bureau Central 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**
  Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
  Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

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.

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 from the IEC Central Office.

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**
  Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
  Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

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.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
949

Première édition
First edition
1988

Calcul des courants de court-circuit admissibles au plan thermique, tenant compte des effets d'un échauffement non adiabatique

Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

© CEI 1988 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

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembé Genève Suisse

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. Liste des symboles 6
2. Courant de court-circuit admissible 8
3. Calcul du courant de court-circuit adiabatique 8
4. Calcul de la température de court-circuit 10
5. Calcul du facteur non adiabatique pour les âmes et les fils d'écran non contigus . . . 10
6. Calcul du facteur non adiabatique pour les gaines métalliques, écrans et armures . . 12

FIGURE 20

ANNEXE A — Indications sur les méthodes recommandées pour prendre en compte les effets d'un échauffement non adiabatique pour le calcul des courants de court-circuit admissibles 22

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

CONTENTS

Page

FOREWORD 5

PREFACE 5

INTRODUCTION 7

Clause

1. List of symbols 7
2. Permissible short-circuit current 9
3. Calculation of adiabatic short-circuit current 9
4. Calculation of short-circuit temperature 11
5. Calculation of non-adiabatic factor for conductors and spaced wire screens 11
6. Calculation of non-adiabatic factor for sheaths, screens and wires 13

FIGURE 21

APPENDIX A — Explanation of recommended methods for taking into account non-adiabatic heating effect when calculating permissible short-circuit currents 23

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CALCUL DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT ADMISSIBLES AU PLAN THERMIQUE, TENANT COMPTE DES EFFETS D'UN ÉCHAUFFEMENT NON ADIABATIQUE

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.
4) La C E I n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand il est déclaré qu'un matériel est conforme à l'une de ses recommandations.

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.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapports de vote
20A(BC)102	20A(BC)109

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

Les publications suivantes de la C E I sont citées dans la présente norme:

Publications n^{os} 228 (1978): Ames des câbles isolés.
287 (1982): Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent (facteur de charge 100%).

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CALCULATION OF THERMALLY PERMISSIBLE SHORT-CIRCUIT CURRENTS, TAKING INTO ACCOUNT NON-ADIABATIC HEATING EFFECTS

FOREWORD

1) The formal decisions or agreements of the I E C 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 I E C expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the I E C recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the I E C recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.
4) The I E C has not laid down any procedure concerning marking as an indication of approval and has no responsibility when an item of equipment is declared to comply with one of its recommendations.

PREFACE

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

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

Six Months' Rule	Report on Voting
20A(CO)102	20A(CO)109

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

The following I E C publications are quoted in this standard:

Publications Nos. 228 (1978): Conductors of insulated cables.
287 (1982): Calculation of the continuous current rating of cables (100% load factor).

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

CALCUL DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT ADMISSIBLES AU PLAN THERMIQUE, TENANT COMPTE DES EFFETS D'UN ÉCHAUFFEMENT NON ADIABATIQUE

INTRODUCTION

La méthode de calcul du régime de court-circuit de tout constituant de câble conducteur suppose généralement que la chaleur est retenue à l'intérieur de ce constituant pendant la durée du court-circuit (échauffement adiabatique). Pendant le court-circuit, il se produit toutefois un transfert de chaleur dans les matériaux adjacents, dont on peut tirer profit. La présente norme décrit une méthode simple pour tenir compte de l'effet de l'échauffement non adiabatique lorsqu'on calcule un régime de court-circuit, de sorte que les mêmes possibilités de court-circuit soient obtenues par différents concepteurs. On reconnaît qu'il existe des méthodes de calcul plus sophistiquées, mais celles-ci n'affectent pas la précision de manière significative et sont considérées comme trop complexes pour être normalisées.

Les formules contiennent des grandeurs variables en fonction des matériaux utilisés dans les câbles. Les valeurs données dans les tableaux sont soit normalisées au plan international, comme les résistivités électriques et les coefficients de variation de la résistance, soit acceptées en pratique, comme les chaleurs spécifiques.

Afin d'obtenir des résultats uniformes et comparables, les régimes de court-circuit doivent être calculés en utilisant la méthode et les valeurs données dans la présente norme. Toutefois, s'il est reconnu avec certitude qu'une autre méthode ou d'autres valeurs de constantes de matériau conviennent mieux, elles peuvent être utilisées pour la détermination du régime de court-circuit, à condition d'être indiquées explicitement.

Dans cette norme, on a pris en compte les cas les plus défavorables de sorte que les possibilités de court-circuit seront pessimistes.

La méthode non adiabatique est valable pour n'importe quelle durée de court-circuit. Comparée à la méthode adiabatique, elle conduit à une augmentation sensible du courant de court-circuit admissible dans le cas des écrans, gaines métalliques, et éventuellement des sections d'âme inférieures à 10 mm² (en particulier utilisées comme fils d'écran). Pour la plage des sections d'âmes habituelles, 5% constitue l'augmentation minimale de courant de court-circuit utile en pratique, de sorte que pour des rapports de durée de court-circuit sur section inférieurs à 0,1 s/mm² le gain en courant est négligeable, et la méthode adiabatique peut alors être utilisée. Cela couvre la majorité des cas pratiques.

L'approche présentée dans la présente norme consiste à:

a) calculer le courant de court-circuit adiabatique,

b) calculer un facteur de correction qui tient compte de l'échauffement non adiabatique,

c) multiplier *a)* par *b)* pour obtenir le courant de court-circuit admissible.

1. Liste des symboles

		Unités
A }	constantes basées sur les caractéristiques thermiques des matériaux adjacents	$(mm^2/s)^{\frac{1}{2}}$
B }		mm^2/s
C_1 }	constantes utilisées dans la formule non adiabatique pour les âmes et les fils d'écrans	mm/m
C_2 }	non contigus	$K.m.mm^2/J$
D_{it}	diamètre du cylindre imaginaire coaxial à la gaine ondulée et tangent à la surface intérieure des creux	mm
D_{oc}	diamètre du cylindre imaginaire coaxial à la gaine ondulée et tangent à la surface extérieure des crêtes	mm

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

CALCULATION OF THERMALLY PERMISSIBLE SHORT-CIRCUIT CURRENTS, TAKING INTO ACCOUNT NON-ADIABATIC HEATING EFFECTS

INTRODUCTION

The method of calculating the short-circuit rating of any current carrying component of a cable has generally been based on the assumption that the heat is retained inside the current carrying component for the duration of the short-circuit (i.e. adiabatic heating). However, there is some heat transfer into the adjacent materials during the short-circuit and advantage can be taken of this. This standard gives a simple method for incorporating this non-adiabatic heating effect when calculating short-circuit ratings so that the same short-circuit ratings are obtained by different designers. It is recognized that more sophisticated computer methods are available but these do not significantly affect the accuracy and are considered too complex to be standardized.

The formulae contain quantities which vary with the materials used in the cables. Values are given in the tables; these values are either internationally standardized, for example electric resistivities and resistance temperature coefficients, or those which are generally accepted in practice, for example specific heats.

In order that uniform and comparable results may be obtained, the short-circuit ratings shall be calculated using the method and the values given in this standard. However, where it is known with certainty that other values of material constants are more appropriate then these may be used, and the corresponding short-circuit rating declared in addition, provided that the different values are quoted.

In this standard the worst case conditions have been assumed and the short-circuit ratings will be pessimistic.

The non-adiabatic method is valid for all short-circuit durations. When compared to the adiabatic method it will provide significant increases of the permissible short-circuit currents in the case of screens, sheaths, and possibly small conductors of $<10\ mm^2$ (especially when used as screen wires). For the usual range of power cable conductors 5% is the minimum increase in short-circuit current that would be useful in practice, so that for ratios of short-circuit duration to conductor cross-sectional area of $<0.1\ s/mm^2$ the improvement in current is negligible and the adiabatic method may be used. This covers the majority of practical situations.

The approach set out in this standard is to:

a) calculate the adiabatic short-circuit current,

b) calculate a modifying factor that takes account of the non-adiabatic heating effect,

c) multiply *a)* and *b)* to obtain the permissible short-circuit current.

1. List of symbols

		Units
A, B	constants based on thermal properties of the surrounding or adjacent materials	$(mm^2/s)^{\frac{1}{2}}$ mm^2/s
C_1, C_2	constants used in the non-adiabatic formula for conductors and spaced wire screens	mm/m $K.m.mm^2/J$
D_{it}	diameter of the imaginary co-axial cylinder which just touches the inside surface of the troughs of a corrugated sheath	mm
D_{oc}	diameter of the imaginary co-axial cylinder which just touches the outside surface of the crests of a corrugated sheath	mm

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

F	facteur tenant compte de l'imperfection des contacts thermiques	—
I	courant de court-circuit admissible (valeur efficace pendant la durée)	A
I_{AD}	courant de court-circuit calculé en hypothèse adiabatique (valeur efficace pendant la durée)	A
I_{SC}	courant maximal de court-circuit connu (valeur efficace pendant la durée)	A
K	constante dépendant du matériau du constituant conduisant le courant	$As^{\frac{1}{2}}/mm^2$
M	coefficient de contact thermique	$s^{-\frac{1}{2}}$
S	section géométrique du constituant conduisant le courant	mm^2
X }	constantes utilisées dans la formule simplifiée pour les âmes et les fils d'écran non contigus	$(mm^2/)s^{\frac{1}{2}}$
Y }		mm^2/s
d	diamètre moyen de la gaine métallique, de l'écran ou de l'armure	mm
n	nombre de rubans ou de fils d'écran	—
t	durée du court-circuit	s
w	largeur d'un ruban	mm
β	inverse du coefficient de variation de la résistance pris à 0 °C	K
δ	épaisseur de la gaine métallique, de l'écran ou de l'armure	mm
ε	facteur tenant compte de la dissipation de chaleur dans les milieux adjacents	—
θ_f	température finale	°C
θ_i	température initiale	°C
ρ_i	résistivité thermique des matériaux non métalliques adjacents	K.m/W
ρ_2, ρ_3	résistivités thermiques des milieux adjacents à l'écran, la gaine métallique ou l'armure	K.m/W
ρ_{20}	résistivité électrique à 20 °C du métal conduisant le courant	Ω.m
σ_c	chaleur spécifique volumique à 20 °C du métal conduisant le courant	$J/K.m^3$
σ_i	chaleur spécifique volumique des matériaux non métalliques adjacents	$J/K.m^3$
σ_1	chaleur spécifique volumique de l'écran, de la gaine métallique ou de l'armure	$J/K.m^3$
σ_2, σ_3	chaleur spécifique volumique des milieux adjacents à l'écran, la gaine métallique ou l'armure	$J/K.m^3$

2. Courant de court-circuit admissible

Le courant de court-circuit admissible est donné par l'expression:

$$I = \varepsilon \times I_{AD}$$

où:

I = courant de court-circuit admissible

I_{AD} = courant de court-circuit calculé dans l'hypothèse adiabatique

ε = facteur tenant compte de la dissipation de chaleur dans les milieux adjacents (voir articles 5 et 6). En régime adiabatique $\varepsilon = 1$

3. Calcul du courant de court-circuit adiabatique

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

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

où:

I_{AD} = courant de court-circuit (valeur efficace pendant la durée) calculé dans l'hypothèse adiabatique (A)

t = durée du court-circuit (s)

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

F	factor to account for imperfect thermal contact	—
I	permissible short-circuit current (r.m.s. over duration)	A
I_{AD}	short-circuit current calculated on an adiabatic basis (r.m.s. over duration)	A
I_{SC}	known maximum short-circuit current (r.m.s. over duration)	A
K	constant depending on the material of the current carrying component	$As^{\frac{1}{2}}/mm^2$
M	thermal contact factor	$s^{-\frac{1}{2}}$
S	geometrical cross-sectional area of the current carrying component	mm^2
X }	constants for use in the simplified formula for conductors and spaced wire screens	$(mm^2/s)^{\frac{1}{2}}$
Y }		mm^2/s
d	mean diameter of sheath, screen or armour	mm
n	number of tapes or wires	—
t	duration of short-circuit	s
w	width of tape	mm
β	reciprocal of temperature coefficient of resistance at 0 °C	K
δ	thickness of sheath, screen or armour	mm
ε	factor to allow for heat loss into adjacent components	—
θ_f	final temperature	°C
θ_i	initial temperature	°C
ρ_i	thermal resistivity of the surrounding or adjacent non-metallic materials	K.m/W
ρ_2, ρ_3	thermal resistivities of the media on either side of the sheath, screen or armour	K.m/W
ρ_{20}	electrical resistivity of the current carrying component at 20 °C	Ω.m
σ_c	volumetric specific heat of the current carrying component at 20 °C	$J/K.m^3$
σ_i	volumetric specific heat of the surrounding or adjacent non-metallic materials	$J/K.m^3$
σ_1	volumetric specific heat of the screen, sheath or armour	$J/K.m^3$
σ_2, σ_3	volumetric specific heat of the media on either side of the screen, sheath or armour	$J/K.m^3$

2. Permissible short-circuit current

The permissible short-circuit current is given by:

$$I = \varepsilon \times I_{AD}$$

where:

I = permissible short-circuit current

I_{AD} = short-circuit current calculated on an adiabatic basis

ε = factor to allow for heat loss into the adjacent components (see Clauses 5 and 6). For adiabatic calculations $\varepsilon = 1$

3. Calculation of adiabatic short-circuit current

The general form of the adiabatic temperature rise formula which is applicable to any initial temperature is:

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

where:

I_{AD} = short-circuit current (r.m.s. over duration) calculated on an adiabatic basis (A)

t = duration of short-circuit (s)

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

K = constante dépendant du matériau du constituant conduisant le courant ($As^{\frac{1}{2}}/mm^2$): voir tableau I

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_c(\beta+20)\times 10^{-12}}{\rho_{20}}}$$

S = section géométrique du constituant conduisant le courant (mm^2): pour les âmes spécifiées dans la C E I 228, on peut prendre la section nominale

θ_f = température finale (°C)

θ_i = température initiale (°C)

β = inverse du coefficient de variation de la résistance du constituant conduisant le courant pris à 0 °C (K): voir tableau I

ln = $\log_e$

σ_c = chaleur spécifique volumique à 20 °C du métal conduisant le courant ($J/K.m^3$): voir tableau I

ρ_{20} = résistivité à 20 °C du métal conduisant le courant ($\Omega.m$): voir tableau I

4. Calcul de la température de court-circuit

Dans certains cas (réseaux avec mise à la terre impédante) le courant de court-circuit maximal est connu et la température de l'âme à la fin du court-circuit peut être déterminée comme suit:

$$I_{AD} = \frac{I_{SC}}{\varepsilon}$$

$$\theta_f = (\theta_i+\beta)\exp\left[\frac{I_{AD}^2\, t}{K^2S^2}\right] - \beta$$

où:

I_{SC} = courant maximal de court-circuit connu (valeur efficace pendant la durée)

5. Calcul du facteur non adiabatique pour les âmes et les fils d'écran non contigus

5.1 *Généralités*

La forme générale d'une équation empirique pour le facteur non adiabatique est la suivante:

$$\varepsilon = \sqrt{1+FA\sqrt{\frac{t}{S}}+F^2B\left(\frac{t}{S}\right)}$$

où:

F = facteur tenant compte de l'imperfection des contacts thermiques entre l'âme, ou les fils, et les matériaux non métalliques adjacents. On recommande de prendre $F = 0{,}7$ (1,0 pour les câbles à huile fluide)

A, B = constantes empiriques basées sur les caractéristiques thermiques des matériaux non métalliques adjacents

$$A = \frac{C_1}{\sigma_c}\sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho_i}} \quad (mm^2/s)^{\frac{1}{2}} \quad \text{où} \quad C_1 = 2464\ mm/m$$

$$B = \frac{C_2}{\sigma_c}\left(\frac{\sigma_i}{\rho_i}\right) \quad (mm^2/s) \quad \text{où} \quad C_2 = 1{,}22\ K.m.mm^2/J$$

et:

σ_c = chaleur spécifique volumique du métal conduisant le courant ($J/K.m^3$)

σ_i = chaleur spécifique volumique des matériaux non métalliques adjacents ($J/K.m^3$)

ρ_i = résistivité thermique des matériaux non métalliques adjacents (K.m/W)

(Les valeurs à prendre pour ces constantes sont indiquées au tableau II)

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

K = constant depending on the material of the current carrying component ($As^{\frac{1}{2}}/mm^2$): see Table I

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_c(\beta+20)\times 10^{-12}}{\rho_{20}}}$$

S = geometrical cross-sectional area of the current carrying component (mm^2): for conductors specified in I E C 228 it is sufficient to take the nominal cross-sectional area

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 (K): see Table I

ln = $\log_e$

σ_c = volumetric specific heat of the current carrying component at 20 °C ($J/K.m^3$): see Table I

ρ_{20} = electrical resistivity of the current carrying component at 20 °C ($\Omega.m$): see Table I

4. Calculation of short-circuit temperature

In some circumstances (e.g. impedance earthed systems) the maximum fault current is known and the conductor temperature at the end of the short-circuit can be determined as follows:

$$I_{AD} = \frac{I_{SC}}{\varepsilon}$$

$$\theta_f = (\theta_i+\beta)\exp\left[\frac{I_{AD}^2\, t}{K^2S^2}\right] - \beta$$

where:

I_{SC} = known short-circuit current (r.m.s. over duration)

5. Calculation of non-adiabatic factor for conductors and spaced wire screens

5.1 *General*

The general form of an empirical equation for the non-adiabatic factor is:

$$\varepsilon = \sqrt{1+FA\sqrt{\frac{t}{S}}+F^2B\left(\frac{t}{S}\right)}$$

where:

F = factor to account for imperfect thermal contact between conductor or wires and surrounding or adjacent non-metallic materials, 0.7 is recommended (1.0 for oil-filled cables)

A, B = empirical constants based on the thermal properties of the surrounding or adjacent non-metallic materials

$$A = \frac{C_1}{\sigma_c}\sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho_i}} \quad (mm^2/s)^{\frac{1}{2}} \quad \text{where} \quad C_1 = 2464\ mm/m$$

$$B = \frac{C_2}{\sigma_c}\left(\frac{\sigma_i}{\rho_i}\right) \quad (mm^2/s) \quad \text{where} \quad C_2 = 1.22\ K.m.mm^2/J$$

and:

σ_c = volumetric specific heat of the current carrying component ($J/NK.m^3$)

σ_i = volumetric specific heat of the surrounding or adjacent non-metallic materials ($J/K.m^3$)

ρ_i = thermal resistivity of the surrounding or adjacent non-metallic materials (K.m/W)

(Suggested values for these material constants are set out in Table II)

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

5.2 *Ames* (massives ou câblées)

Pour les combinaisons courantes de matériaux, la formule générale peut être simplifiée de la façon suivante:

$$\varepsilon = \sqrt{1 + X\sqrt{\frac{t}{S}} + Y\left(\frac{t}{S}\right)}$$

où:

X et Y, incluant le facteur de contact thermique de 0,7 (1,0 pour les câbles à huile fluide), sont donnés au tableau III

5.3 *Fils d'écran non contigus*

5.3.1 *Fils entièrement enrobés*

La formule s'applique aux fils d'écran non contigus à condition qu'ils soient espacés d'au moins un diamètre de fil individuel et entièrement entourés de matériaux non métalliques. On néglige l'influence des rubans équipotentiels minces disposés en hélice. Pour les combinaisons usuelles de matériaux, la formule simplifiée du paragraphe 5.2 peut être utilisée, sinon la formule générale du paragraphe 5.1 doit être utilisée avec $F = 0{,}7$. Le courant est calculé pour un fil pris individuellement et ensuite multiplié par le nombre de fils n pour obtenir la valeur totale du courant de court-circuit. Par conséquent, dans toutes les formules on utilise la section d'un fil pris individuellement.

5.3.2 *Fils non entièrement enrobés*

La méthode peut également s'appliquer aux fils d'écran non contigus lorsqu'ils sont disposés sous un tube extrudé et qu'il y a de l'air entre les fils. On néglige l'influence des rubans équipotentiels minces disposés en hélice. On utilise la formule générale du paragraphe 5.1 avec $F = 0{,}5$. Lorsque les fils sont disposés entre deux matériaux de nature différente, on prend la moyenne arithmétique des résistivités thermiques et la moyenne des chaleurs spécifiques volumiques. Le courant est calculé pour un fil pris individuellement et ensuite multiplié par le nombre de fils pour obtenir la valeur totale du courant de court-circuit. Par conséquent, dans toutes les formules on utilise la section d'un fil pris individuellement.

6. Calcul du facteur non adiabatique pour les gaines métalliques, écrans et armures

Note. — Le choix de la section de la gaine métallique ou de l'écran à utiliser dans la formule adiabatique est très important; ceci est pris en compte dans les paragraphes suivants.

6.1 *Généralités*

Pour les gaines métalliques, écrans et armures, le facteur ε est déduit de la formule suivante:

$$\varepsilon = 1 + 0{,}61\ M\sqrt{t} - 0{,}069\ (M\sqrt{t})^2 + 0{,}0043\ (M\sqrt{t})^3$$

le facteur M étant calculé comme suit:

$$M = \frac{\left(\sqrt{\frac{\sigma_2}{\rho_2}} + \sqrt{\frac{\sigma_3}{\rho_3}}\right)}{2\ \sigma_1\ \delta \times 10^{-3}} F \qquad \left(s^{-\frac{1}{2}}\right)$$

où:

σ_2, σ_3 = chaleur spécifique volumique des milieux adjacents à l'écran, à la gaine métallique ou à l'armure ($J/K.m^3$)

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

5.2 *Conductors* (solid or stranded)

The general formula can be simplified for common combinations of materials as follows:

$$\varepsilon = \sqrt{1 + X\sqrt{\frac{t}{S}} + Y\left(\frac{t}{S}\right)}$$

where:

X and Y, incorporating the thermal contact factor of 0.7 (1.0 for oil-filled cables) are given in Table III

5.3 *Isolated screen wires*

5.3.1 *Fully embedded*

The formula applies to isolated screen wires provided they are separated by at least one wire diameter and fully surrounded by non-metallic materials. The contribution of thin helically applied equalizing tapes is ignored. For common combinations of materials the simplified formula in Sub-clause 5.2 may be utilized, otherwise the general formula in Sub-clause 5.1 must be used with $F = 0.7$. The current is calculated on a per wire basis and then multiplied by the number of wires n to obtain the full short-circuit current. Thus the cross-sectional area of a single wire is used in all formulae.

5.3.2 *Not fully embedded*

The method can also be applied to isolated screen wires where they are situated under an extruded tube and air spaces are present between the wires. The contribution of thin helically applied equalizing tapes is ignored. The general formula of Sub-clause 5.1 is used with $F = 0.5$. Where the wires are situated between two different materials an arithmetic average of the thermal resistivities and of the volumetric specific heats of the two materials should be used. The current is calculated on a per wire basis and then multiplied by the number of wires to obtain the full short-circuit current. Thus the cross-sectional area of a single wire is used in all formulae.

6. Calculation of non-adiabatic factor for sheaths, screens and wires

Note. — The choice of the cross-sectional area of the sheath or screen to be used in the adiabatic formula is of great importance and is covered in the appropriate sub-clause below.

6.1 *General*

The factor ε for sheaths, screens and armour is determined from the following formula:

$$\varepsilon = 1 + 0.61\ M\sqrt{t} - 0.069\ (M\sqrt{t})^2 + 0.0043\ (M\sqrt{t})^3$$

the factor M is calculated as follows:

$$M = \frac{\left(\sqrt{\frac{\sigma_2}{\rho_2}} + \sqrt{\frac{\sigma_3}{\rho_3}}\right)}{2\ \sigma_1\ \delta \times 10^{-3}} F \qquad (s^{-\frac{1}{2}})$$

where:

σ_2, σ_3 = volumetric specific heat of media either side of the screen, sheath or armour (J/K.m³)

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ρ_2, ρ_3 = résistivité thermique des milieux adjacents à l'écran, à la gaine métallique ou à l'armure (K.m/W)
σ_1 = chaleur spécifique volumique de l'écran, de la gaine métallique ou de l'armure (J/K.m³)
δ = épaisseur de l'écran, de la gaine métallique ou de l'armure (mm)

Les constantes thermiques des différents matériaux sont indiquées au tableau II.

On préconise de prendre une valeur $F = 0{,}7$ sauf lorsque le constituant métallique est complètement adhérent sur une de ses faces au composant adjacent, où une valeur $F = 0{,}9$ peut être utilisée.

En variante, lorsque la valeur de $M\sqrt{t}$ a été calculée, ε peut être obtenu à partir de la figure 1.

6.2 *Gaines tubulaires*

La section à utiliser dans la formule adiabatique est la suivante:

$$S = \pi d \delta$$

où:

d = diamètre moyen de la gaine métallique (mm)

Note. — pour les gaines ondulées $d = \dfrac{D_{it} + D_{oc}}{2}$

δ = épaisseur de la gaine (mm)

Lorsque le contact thermique peut être considéré comme intime, le facteur de contact thermique F est pris égal à l'unité.

6.3 *Rubans*

6.3.1 *Disposés longitudinalement*

La section à utiliser dans la formule adiabatique est celle du ruban à condition que le recouvrement n'excède pas 10% de sa largeur.

$$S = w \delta$$

où:

w = largeur du ruban (mm)
δ = épaisseur du ruban (mm)

6.3.2 *Disposés en hélice à recouvrement*

Il n'est pas facile de définir le contact entre spires et entre rubans, en particulier sur un câble ancien. De ce fait on considère que le courant suit un parcours hélicoïdal et on recommande de prendre la section totale des rubans (c'est-à-dire $n \times$ largeur $\times$ épaisseur).

$$S = n w \delta$$

où:

n = nombre de rubans
w = largeur du (des) ruban(s) (mm)
δ = épaisseur du (des) ruban(s) (mm)

6.4 *Fils contigus*

La section totale des fils doit être utilisée dans la formule adiabatique. Pour δ on prend le diamètre d'un fil individuel.

6.5 *Tresses*

On considère que les tresses ont une section égale au nombre de fils de la tresse multiplié par la section d'un fil de tresse pris individuellement. Pour δ on prend deux fois le diamètre d'un fil individuel.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ρ_2, ρ_3 = thermal resistivity of the media either side of screen, sheath or armour (K.m/W)
σ_1 = volumetric specific heat of the screen, sheath or armour (J/K.m³)
δ = thickness of screen, sheath or armour (mm)

Suggested thermal constants for various materials are set out in Table II.

It is recommended that a value of $F = 0.7$ be used except that when the metallic component is completely bonded on one side to the adjacent medium, a value of $F = 0.9$ can be used.

Alternatively, once the value of $M\sqrt{t}$ has been calculated, ε can be obtained from Figure 1.

6.2 *Tubular sheaths*

The area to be used in the adiabatic formula is calculated as follows:

$$S = \pi d \delta$$

where:

d = mean diameter of the sheath (mm)

Note. — for corrugated sheaths $d = \dfrac{D_{it} + D_{oc}}{2}$

δ = thickness of sheath (mm)

Where intimate thermal contact can be expected, the thermal contact factor (F) can be taken as unity.

6.3 *Tapes*

6.3.1 *Longitudinal*

The area to be used in the adiabatic formula is the cross-section of the tape, providing that the overlap is not more than 10% of its width.

$$S = w \delta$$

where:

w = width of tape (mm)
δ = thickness of tape (mm)

6.3.2 *Helically lapped*

The inter-turn and inter-tape contact cannot easily be predicted, especially after some time in service, thus it is recommended that the current be assumed to flow around the helix and thus the total cross-section of the tapes be used (i.e. $n \times$ width $\times$ thickness).

$$S = n w \delta$$

where:

n = number of tapes
w = width of tape (mm)
δ = thickness of tape (mm)

6.4 *Touching wires*

The total cross-sectional area of the wires is to be used in the adiabatic formula. δ is taken as the diameter of an individual wire.

6.5 *Wire braid*

The wire braid is considered to have a cross-sectional area equal to the number of wires in the braid multiplied by the area of an individual wire. δ is taken as twice the diameter of a braid wire.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

TABLEAU I

Matériau	K ($As^{\frac{1}{2}}/mm^2$) [1]	β(K) [2]	σ_c (J/K.m³) [3]	ρ_{20} (Ω.m) [2]
a) Ames				
Cuivre	226	234,5	$3,45 \times 10^6$	$1,7241 \times 10^{-8}$
Aluminium	148	228	$2,5 \times 10^6$	$2,8264 \times 10^{-8}$
b) Gaines, écrans métalliques et armures				
Plomb ou alliage de plomb	41	230	$1,45 \times 10^6$	$21,4 \times 10^{-8}$
Acier	78	202	$3,8 \times 10^6$	$13,8 \times 10^{-8}$
Bronze	180	313	$3,4 \times 10^6$	$3,5 \times 10^{-8}$
Aluminium	148	228	$2,5 \times 10^6$	$2,84 \times 10^{-8}$

[1] Valeurs obtenues à partir de la formule de l'article 3.
[2] Valeurs extraites de la C E I 287 (Tableau I).
[3] Valeurs extraites d'*Electra*, n° 24, octobre 1972, page 91.

TABLEAU II

Constantes thermiques des matériaux

Matériau	Résistivité thermique (ρ) [1] (K.m/W)	Chaleur spécifique volumique (σ) [2] (J/K.m³)
Matériaux d'isolation:		
Papier imprégné dans les câbles à matière visqueuse	6,0	$2,0 \times 10^6$
Papier imprégné dans les câbles à huile fluide	5,0	$2,0 \times 10^6$
Huile	7,0	$1,7 \times 10^6$
PE	3,5	$2,4 \times 10^6$
PR	3,5	$2,4 \times 10^6$
Polychlorure de vinyle:		
câbles jusqu'à 3 kV inclus	5,0	$1,7 \times 10^6$
câbles de plus de 3 kV	6,0	$1,7 \times 10^6$
EPR:		
câbles jusqu'à 3 kV inclus	3,5	$2,0 \times 10^6$
câbles de plus de 3 kV	5,0	$2,0 \times 10^6$
Caoutchouc butyle	5,0	$2,0 \times 10^6$
Caoutchouc naturel	5,0	$2,0 \times 10^6$
Matériaux de revêtement:		
Jute composé et matériaux fibreux	6,0	$2,0 \times 10^6$
Protection «rubber-sandwich»	6,0	$2,0 \times 10^6$
Polychloroprène	5,5	$2,0 \times 10^6$
PVC:		
câbles jusqu'à 35 kV inclus	5,0	$1,7 \times 10^6$
câbles de plus de 35 kV	6,0	$1,7 \times 10^6$
PVC/bitume sur les gaines d'aluminium ondulées	6,0	$1,7 \times 10^6$
PE	3,5	$2,4 \times 10^6$
Autres constituants:		
PR et PE semi-conducteurs [3]	2,5	$2,4 \times 10^6$
EPR semi-conducteur	3,5	$2,1 \times 10^6$

[1] Valeurs extraites de la C E I 287 (Tableau IV).
[2] Valeurs extraites d'*Electra* n° 24, octobre 1972, page 91.
[3] Valeurs extraites du rapport *EPRI* n° EL-3014.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

TABLE I

Material	K ($As^{\frac{1}{2}}/mm^2$) [1]	β (K) [2]	σ_c (J/K.m³) [3]	ρ_{20} (Ω.m) [2]
a) Conductors				
Copper	226	234.5	3.45×10^6	1.7241×10^{-8}
Aluminium	148	228	2.5×10^6	2.8264×10^{-8}
b) Sheaths, screens and armour				
Lead or lead alloy	41	230	1.45×10^6	21.4×10^{-8}
Steel	78	202	3.8×10^6	13.8×10^{-8}
Bronze	180	313	3.4×10^6	3.5×10^{-8}
Aluminium	148	228	2.5×10^6	2.84×10^{-8}

[1] Values obtained from formula in Clause 3.
[2] Values taken from I E C 287 (Table I).
[3] Values taken from *Electra* No. 24, October 1972, p. 91.

TABLE II

Thermal constants of materials

Material	Thermal Resistivity (ρ) [1] (K.m/W)	Volumetric Specific Heat (σ) [2] (J/K.m³)
Insulating materials:		
Impregnated paper in solid type cables	6.0	2.0×10^6
Impregnated paper in oil-filled cables	5.0	2.0×10^6
Oil	7.0	1.7×10^6
PE	3.5	2.4×10^6
XLPE	3.5	2.4×10^6
Polyvinyl chloride:		
up to and including 3 kV cables	5.0	1.7×10^6
greater than 3 kV cables	6.0	1.7×10^6
EPR:		
up to and including 3 kV cables	3.5	2.0×10^6
greater than 3 kV cables	5.0	2.0×10^6
Butyl rubber	5.0	2.0×10^6
Rubber (natural)	5.0	2.0×10^6
Protective coverings:		
Compounded jute and fibrous materials	6.0	2.0×10^6
Rubber sandwich protection	6.0	2.0×10^6
Polychloroprene	5.5	2.0×10^6
PVC:		
up to and including 35 kV cables	5.0	1.7×10^6
greater than 35 kV cables	6.0	1.7×10^6
PVC/bitumen on corrugated aluminium sheaths	6.0	1.7×10^6
PE	3.5	2.4×10^6
Other components:		
Semi-conducting XLPE and PE [3]	2.5	2.4×10^6
Semi-conducting EPR	3.5	2.1×10^6

[1] Values taken from I E C 287 (Table IV).
[2] Values taken from *Electra* No. 24, Oct. 1972, p. 91.
[3] Values taken from *EPRI* Report No. EL-3014.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

TABLEAU III

Constantes à utiliser dans la formule simplifiée pour les âmes et les fils d'écran non contigus

Note. — Facteur de contact thermique égal à 0,7 sauf pour les câbles à huile fluide où on prend 1,0.

Isolant	Constantes pour le cuivre		Constantes pour l'aluminium	
	X $[(mm^2/s)^{\frac{1}{2}}]$	Y $[mm^2/s]$	X $[(mm^2/s)^{\frac{1}{2}}]$	Y $[mm^2/s]$
PVC: ⩽3 kV	0,29	0,06	0,40	0,08
>3 kV	0,27	0,05	0,37	0,07
PR	0,41	0,12	0,57	0,16
EPR: ⩽3 kV	0,38	0,10	0,52	0,14
>3 kV	0,32	0,07	0,44	0,10
Papier: huile fluide	0,45	0,14	0,62	0,20
autres	0,29	0,06	0,40	0,08

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

TABLE III

Constants for use in the simplified formula for conductors and spaced wire screens

Note. — Thermal contact factor = 0.7 except for oil-filled cables when 1.0 is used.

Insulation	Constants for copper		Constants for aluminium	
	X $[(mm^2/s)^{\frac{1}{2}}]$	Y $[mm^2/s]$	X $[(mm^2/s)^{\frac{1}{2}}]$	Y $[mm^2/s]$
PVC: ⩽3 kV	0.29	0.06	0.40	0.08
>3 kV	0.27	0.05	0.37	0.07
XLPE	0.41	0.12	0.57	0.16
EPR: ⩽3 kV	0.38	0.10	0.52	0.14
>3 kV	0.32	0.07	0.44	0.10
Paper: oil-filled	0.45	0.14	0.62	0.20
others	0.29	0.06	0.40	0.08

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

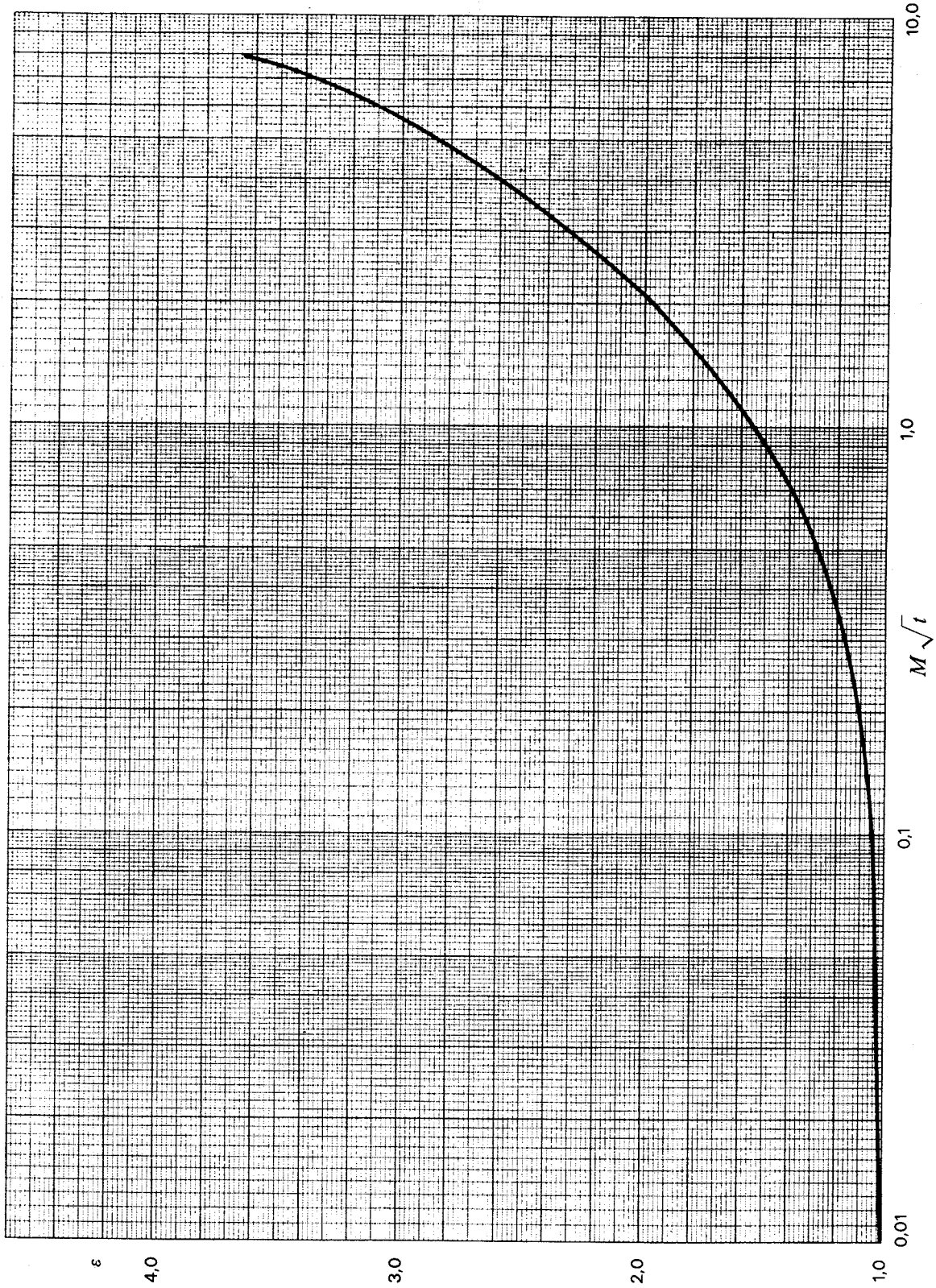

FIG. 1. — Facteur non adiabatique (ε) pour les gaines, écrans métalliques et armures.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

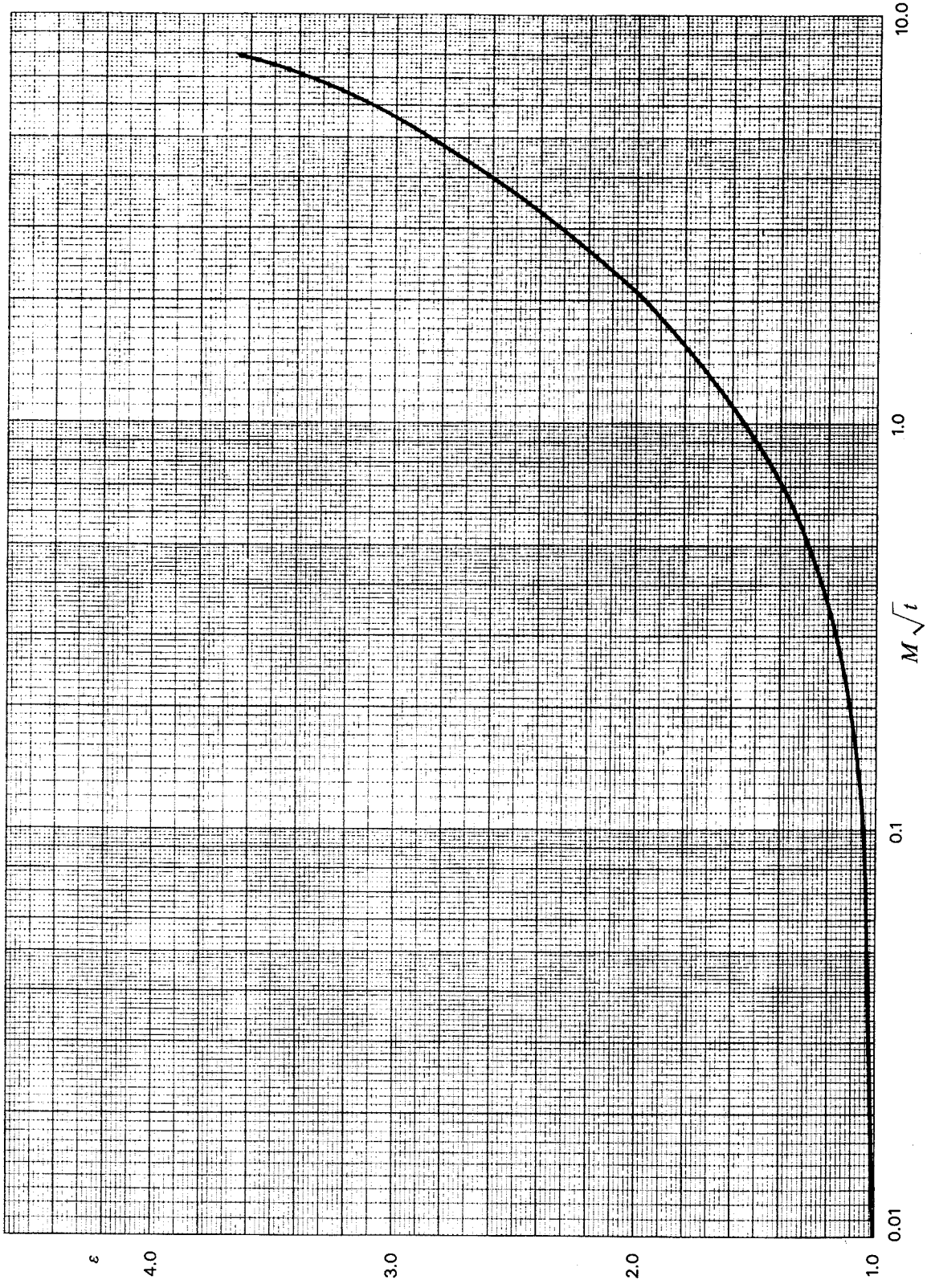

FIG. 1. — Non-adiabatic factor (ε) for sheaths, screens and armour.

ANNEXE A

INDICATIONS SUR LES MÉTHODES RECOMMANDÉES POUR PRENDRE EN COMPTE LES EFFETS D'UN ÉCHAUFFEMENT NON ADIABATIQUE POUR LE CALCUL DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT ADMISSIBLES

La prise en compte de la dissipation de chaleur dans l'isolant peut être introduite sous la forme d'un facteur modifiant, soit l'énergie de court-circuit, soit la température maximale autorisée. La première a été choisie car cela permet de garder constante la température limite pour un matériau donné, plutôt que de modifier la quantité de chaleur diffusée dans l'isolant. Le facteur de correction ε est défini sous forme du rapport entre les énergies en régimes adiabatique et non adiabatique et ainsi joue directement sur le courant dans l'âme, la durée étant la même dans les deux cas.

Dans certaines installations (par exemple réseaux à neutre impédant), le courant de court-circuit maximal est connu et la méthode peut être utilisée en sens inverse pour déterminer la température maximale atteinte en fin de court-circuit.

(A) Ames

Une quantité importante de travaux théoriques et expérimentaux peut être utilisée pour les câbles isolés au PVC avec âme en cuivre, ainsi que quelques données disponibles pour les câbles isolés au papier à âme en cuivre. La méthode recommandée a donc été basée sur les données relatives aux câbles PVC/cuivre et a été extrapolée pour couvrir les autres types de câbles. Une confirmation de cette extrapolation a été obtenue à partir de quelques résultats d'essais disponibles sur câbles au papier.

Un accord satisfaisant a été trouvé entre quatre méthodes théoriques indépendantes et une méthode de calcul par ordinateur (cette dernière étant l'une des méthodes proposées à la CIGRÉ pour les calculs en régime transitoire *), et les données expérimentales disponibles.

Les formules théoriques se présentaient sous la forme:

$$\varepsilon = \sqrt{1 + A\sqrt{\frac{t}{S}} + B\left(\frac{t}{S}\right)}$$

et une formule empirique de cette forme était en bon accord avec la courbe calculée par ordinateur pour le PVC. Les constantes empiriques A et B tiennent compte des chaleurs spécifiques de l'âme et de l'enveloppe isolante ainsi que de la résistivité thermique de cette dernière, et en changeant ces constantes (à partir des valeurs publiées dans *Electra* n° 24, pages 90 et 91) on a calculé les courbes relatives aux autres combinaisons de matériaux âme/isolant.

En pratique, il existe une grande dispersion des résultats expérimentaux et on a considéré que cela était dû à l'imperfection du contact thermique entre l'âme et l'isolant. Pour tenir compte de ceci, un coefficient F a été introduit dans la formule, toujours conformément aux travaux théoriques. On a trouvé que la valeur de 0,7 cernait pratiquement toutes les données expérimentales disponibles sur le PVC et elle a donc été utilisée pour toutes les combinaisons

* *Electra*, n° 87, mars 1983, p. 41.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

APPENDIX A

EXPLANATION OF RECOMMENDED METHODS FOR TAKING INTO ACCOUNT NON-ADIABATIC HEATING EFFECT WHEN CALCULATING PERMISSIBLE SHORT-CIRCUIT CURRENTS

The allowance for heat loss into the dielectric can be incorporated in terms of a factor modifying either the short-circuit energy input or the maximum temperature allowed. The former was chosen as it allows the temperature limit for a material to be kept constant rather than changing with the amount of heat loss into the dielectric. The modifying factor ε is defined in terms of the ratio of the adiabatic to the non-adiabatic energy input and thus acts directly on the conductor current as the duration is the same for both cases.

In some installations (e.g. system with neutral impedances) the maximum fault current is known and the recommended method can be inverted so as to estimate the maximum short-circuit temperature that will be attained.

(A) Conductors

A large amount of theoretical and experimental work is available for PVC insulated copper conductor cables with a small amount of data being accessible for paper insulated copper conductor cables. The method recommended has been based on the PVC/copper data and has been extrapolated to cover other cable types. Confirmation of the extrapolation has been obtained from the few paper cable test results applicable.

Good agreement was found between four independently derived theoretical methods and a computer based transient calculation method (this latter being the method accepted by CIGRÉ for transient rating calculations *) and the available experimental data.

The theoretical formulae were of the form:

$$\varepsilon = \sqrt{1 + A\sqrt{\frac{t}{S}} + B\left(\frac{t}{S}\right)}$$

and an empirical formula of this form was fitted to the computer calculated curve for PVC. The empirical constants A and B incorporated the specific heats of the conductor and insulation along with the thermal resistivity of the insulation and by modifying these constants (using the values published in *Electra* No. 24 pp. 90/91) curves for other conductor/dielectric material combinations have been calculated.

In practice a large scatter in experimental results was evident and this was considered to be a function of imperfect thermal contact between the conductor and the dielectric. A factor F was introduced in the formula, again analogous to theoretical work, to allow for this. A value of 0.7 for F was found to encompass virtually all the available PVC experimental data and this was then used for all conductor/material combinations (except for oil-filled cables

* *Electra*, No. 87, March 1983, p. 41.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

âme/isolant (sauf pour les câbles à huile fluide, pour lesquels la qualité du contact thermique permet de prendre un coefficient égal à 1,0). Toute erreur va ainsi dans le sens de la sécurité.

Le facteur ε dépend légèrement de la température mais, dans la gamme des températures utilisées en pratique, cette variation est négligeable et couverte par la valeur de 0,7 précitée.

Le Groupe de Travail a considéré que 5% constituait le gain minimal de courant de court-circuit admissible qui puisse raisonnablement être utile en pratique. Ainsi pour $t/S < 0{,}1$ s/mm² l'augmentation du courant dans l'âme est négligeable et il n'y a pas lieu de recommander la méthode non adiabatique pour ces conditions, qui couvrent probablement la majorité des cas pratiques.

(B) **Ecrans et gaines métalliques**

Ceux-ci offrent la plus grande possibilité d'augmentation du courant de court-circuit admissible en régime non adiabatique.

Un certain nombre de méthodes analytiques et par calculateur ont été considérées par le Groupe de Travail. La méthode choisie est une simplification graphique de la méthode théorique la plus précise qui soit disponible * qui prend en compte directement les variations des pertes en fonction de la température.

Le problème principal a été le manque de résultats expérimentaux qui puissent être comparés avec la théorie. Un accord raisonnable a pu être obtenu avec les quelques résultats d'essais disponibles, en particulier si on introduit un facteur tenant compte de l'imperfection du contact thermique comme pour l'âme. De plus des résultats obtenus à partir de la méthode par calculateur en (A) ci-dessus a également conduit à un accord satisfaisant avec la théorie.

Une fois de plus, le facteur ε dépend légèrement de la température mais la courbe représente le cas le plus défavorable et en pratique on pourra négliger cet effet.

Le facteur de contact thermique a été choisi pour les différents types de gaine métallique et d'écran selon la confiance du Groupe de Travail envers la qualité de ce contact. Par exemple les câbles au papier sous gaine de plomb avec enduit bitumineux sous la gaine extérieure auront un excellent contact, alors que les gaines d'aluminium ondulé sur les câbles à matière non migrante auront un contact médiocre avec l'isolant. Les propositions qui ont été faites sont considérées comme allant dans le sens de la sécurité.

Le point le plus délicat est celui de la résistance et de la section à prendre en compte avec les écrans rubanés simples à recouvrement ou multiples. La résistance dépend dans une large mesure du contact entre spires, qui peut varier de façon aléatoire pendant la vie du câble ou même pendant un court-circuit. De ce fait on a considéré l'hypothèse la plus sûre, à savoir que le courant s'écoule de façon hélicoïdale sans aucune conductance entre spires. On utilise alors la section géométrique du ruban (ou des rubans). Ceci conduit à une aptitude au court-circuit limitée, mais qui constitue cependant une amélioration par rapport à un régime adiabatique supposant aussi qu'il n'y a pas de contact entre prises.

De la même façon les écrans en fils tressés sont supposés tubulaires mais sans contact entre fils. La section à utiliser est alors celle d'un fil individuel multipliée par le nombre total de fils de la tresse alors que l'épaisseur est le double du diamètre d'un fil individuel.

---

* Mildner, R.C., et al., AIEE Trans. vol. 87, p. 749 à 758, mars 1968.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

where the good thermal contact allows a factor of 1.0 to be used). Any errors should thus be on the safe side.

The factor ε is slightly temperature dependent but over the range of temperatures normally used in practice this effect will be negligible and covered by the 0.7 factor.

The Working Group considered that 5% was the minimum increase in allowable short-circuit current that would be reasonably useful in practice. Thus for $t/S < 0.1$ s/mm² the improvement in conductor current is negligible and the non-adiabatic method is not recommended for these conditions which probably cover the majority of practical situations.

(B) **Screens and sheaths**

These are considered to have the greatest potential for increasing the allowable short-circuit current under non-adiabatic heating conditions.

A number of analytic and computer methods were available to the Working Group. The method chosen was a simplification of the most theoretically accurate method available * which directly takes account of the change in losses with temperature.

The major problem has been a lack of experimental results with which to compare the theoretical method. Reasonable agreement has been obtained with the few test results available, especially if a factor to account for imperfect thermal contact is introduced in an analagous manner to that for the conductor. In addition test runs using the computer method in (A) above have also given good agreement with the theory.

The factor ε is again slightly temperature dependent but the equation represents the worst case condition and in practice the effect should be negligible.

The thermal contact factor has been chosen for the various sheath and screen constructions with a view to the confidence the Working Group have in the degree of thermal contact. For example lead sheathed paper cables with bitumen layer under the oversheath should have a very good contact, whereas corrugated aluminium sheaths on mass impregnated non-draining cables will have a poor contact with the dielectric. Proposals have been made which are considered to be on the safe side.

The most difficult item to be defined is the resistance and cross-sectional area to be used with overlapped or multi-layer taped screens. The resistance depends to a great extent on the degree of intertape contact which can vary unpredictably during the life of a cable and even during a short-circuit. Thus the safest assumption has been made, namely that the current flows along the tape helically around the cable with no intertape conductance. The geometrical cross-sectional area of the tape (or tapes) is then used. This gives low short-circuit ratings but they are still an improvement over those calculated on an adiabatic basis with the same assumption of no inter-turn contact.

Similarly, woven wire braid screens are assumed to be of tubular form but having no inter-wire conductance. The cross-sectional area to be used is then that of an individual wire multiplied by the total number of wires in the braid while the thickness is twice the diameter of an individual wire.

---

* Mildner, R.C., et al., AIEE Trans. Vol. 87, pp. 749-758, March 1968.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ICS 29.020

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND