

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

IEC STANDARD

Publication 287 A

1978

Premier complément à la Publication 287 (1969)

**Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent
(facteur de charge 100%)**

Annexe C: Calcul numérique des quantités indiquées sous forme de graphiques

First supplement to Publication 287 (1969)

**Calculation of the continuous current rating of cables
(100% load factor)**

Appendix C: Digital calculation of quantities given graphically



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du V.E.I., soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

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

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 117 de la CEI: Symboles graphiques recommandés.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 117 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

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

- **IEC Bulletin**
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the I.E.V. 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:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 117: Recommended graphical symbols.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 117, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

IEC STANDARD

Publication 287 A

1978

Premier complément à la Publication 287 (1969)

**Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent
(facteur de charge 100 %)**

Annexe C: Calcul numérique des quantités indiquées sous forme de graphiques

First supplement to Publication 287 (1969)

**Calculation of the continuous current rating of cables
(100 % load factor)**

Appendix C: Digital calculation of quantities given graphically

Descripteurs : câbles, courant permanent,
calculs numériques

Descriptors : cables, permanent current,
digital calculations



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

1, rue de Varembé
Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
C1. Introduction	6
C2. Facteur géométrique G pour les câbles tripolaires à ceinture à conducteurs ronds (figure 2 de la Publication 287)	6
C3. Résistance thermique des câbles tripolaires métallisés à ceinture à conducteurs ronds rapportée à celle des câbles correspondants non métallisés (figure 3 de la Publication 287)	8
C4. Résistance thermique des câbles tripolaires métallisés à conducteurs sectoriaux rapportée à celle des câbles analogues non métallisés (figure 4 de la Publication 287)	10
C5. Facteur géométrique $\bar{G}$ pour la résistance thermique des bourrages et revêtements des câbles triplombs ou sous gaines d'aluminium individuelles (figure 5 de la Publication 287)	10
C6. Coefficient de dissipation de chaleur pour les câbles posés à l'air libre (figure 6 de la Publication 287)	12
a) (1) Noir	12
b) (1) Brillant	12
c) (2) Noirs — 9 cm entre les axes	12
d) (2) Brillants — 9 cm entre les axes	14
e) (2) Noirs jointifs	14
f) (2) Brillants jointifs et (3') noirs jointifs	14
g) (3) Noirs — 9 cm entre les axes	14
h) (3) Noirs jointifs	14
i) (3) Brillants jointifs	16
j) (3') Brillants jointifs	16
C7. Calcul de la résistance thermique externe T_4 des câbles dans l'air (figure 7 de la Publication 287)	16
C8. Calcul numérique des quantités spécifiées graphiquement pour le calcul des intensités dans les câbles bipolaires	16

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
C1. Introduction	7
C2. Geometric factor G for three-core belted cables with circular conductors (Figure 2 of Publication 287)	7
C3. Thermal resistance of three-core screened cables with circular conductors compared to that of a corresponding unscreened cable (Figure 3 of Publication 287)	9
C4. Thermal resistance of three-core screened cables with sector-shaped conductors compared with that of a corresponding unscreened cable (Figure 4 of Publication 287)	11
C5. Curves for $\bar{G}$ for obtaining the thermal resistance of the filling material between the sheaths and armour of S.L. and S.A. type cables (Figure 5 of Publication 287)	11
C6. Heat dissipation coefficients for cables in air (Figure 6 of Publication 287)	13
a) (1) Black	13
b) (1) Bright	13
c) (2) Black — 9 cm axial spacing	13
d) (2) Bright — 9 cm axial spacing	15
e) (2) Black touching	15
f) (2) Bright touching and (3') black touching	15
g) (3) Black — 9 cm axial spacing	15
h) (3) Black touching	15
i) (3) Bright touching	17
j) (3') Bright touching	17
C7. Calculation of external thermal resistance T_4 of cables in air (Figure 7 of Publication 287)	17
C8. Digital calculation of quantities specified graphically for the calculation of twin-core current ratings	17

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

Premier complément à la Publication 287 (1969)
CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE
DANS LES Câbles EN RÉGIME PERMANENT
(FACTEUR DE CHARGE 100%)

Annexe C: Calcul numérique des quantités indiquées sous forme de graphiques

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI 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 CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI 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 CEI: Câbles électriques.

Elle constitue le premier complément à la Publication 287 de la CEI: Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent (facteur de charge 100%).

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Oslo en 1976. A la suite de cette réunion, un projet, document 20A (Bureau Central) 58, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en mars 1977.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Italie
Allemagne	Japon
Australie	Norvège
Autriche	Pays-Bas
Belgique	Portugal
Brésil	Roumanie
Canada	Royaume-Uni
Corée (République de)	Suède
Danemark	Suisse
Egypte	Tchécoslovaquie
Etats-Unis d'Amérique	Turquie
Finlande	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
France	Yougoslavie

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

First supplement to Publication 287 (1969)
CALCULATION OF THE CONTINUOUS CURRENT RATING
OF CABLES
(100% LOAD FACTOR)

Appendix C: Digital calculation of quantities given graphically

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.

It constitutes the first supplement to IEC Publication 287, Calculation of the Continuous Current Rating of Cables (100% Load Factor).

A first draft was discussed at the meeting held in Oslo in 1976. As a result of this meeting, a draft, Document 20A(Central Office)58, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in March 1977.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Korea (Republic of)
Austria	Netherlands
Belgium	Norway
Brazil	Portugal
Canada	Romania
Czechoslovakia	South Africa (Republic of)
Denmark	Sweden
Egypt	Switzerland
Finland	Turkey
France	Union of Soviet Socialist Republics
Germany	United Kingdom
Italy	United States of America
Japan	Yugoslavia

Premier complément à la Publication 287 (1969)

**CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE
DANS LES CÂBLES EN RÉGIME PERMANENT
(FACTEUR DE CHARGE 100%)**

ANNEXE C

CALCUL NUMÉRIQUE DES QUANTITÉS INDIQUÉES SOUS FORME DE GRAPHIQUES

C1. Introduction

Dans cette annexe sont données les formules et méthodes appropriées au calcul numérique des quantités indiquées sous forme de graphiques dans la Publication 287 de la CFI. Les numéros de pages indiqués sont ceux de la réimpression de la première édition de la Publication 287 de la CFI, qui comprend les Modifications Nos 1 et 2.

Trois méthodes ont été utilisées pour le calcul numérique. La première est une méthode par approximation avec équations algébriques, suivie d'une interpolation quadratique ou linéaire le cas échéant. Le pourcentage d'erreur maximal avant l'interpolation est indiqué dans chaque cas. La seconde méthode adoptée pour le calcul des coefficients de la dissipation de la chaleur dans les câbles posés à l'air libre consiste à accumuler suffisamment de valeurs afin que l'interpolation linéaire fournisse le résultat requis. En conséquence, les valeurs précédant l'interpolation linéaire sont indiquées dans cette annexe. La seconde méthode a été préférée à la méthode par approximation algébrique pour qu'une méthode soit immédiatement disponible même si les coefficients de dissipation de la chaleur adoptés dans l'avenir sont différents. Enfin, la troisième méthode est une méthode itérative utilisée à la place de la solution fournie par une équation quintique.

C2. Facteur géométrique G pour les câbles tripolaires à ceinture à conducteurs ronds (figure 2, page 63, de la Publication 287)

Indiquer: $X = t_1/d_c$
 $Y = (2 t_1/t) - 1$

D'où: $G = MG_s$

où:

$$M = \text{formule Mie} = 2,3 \log_{10} \frac{1 - \alpha\beta + [(1 - \alpha^2)(1 - \beta^2)]^{1/2}}{\alpha - \beta}$$

$$\alpha = \frac{1}{\left[1 + \frac{2X}{1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{2X}{1+Y} \right)} \right]^3}$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{\frac{2}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{2X}{1+Y} \right) - 3}{\frac{2}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{2X}{1+Y} \right) + 3}$$

First supplement to Publication 287 (1969)

**CALCULATION OF THE CONTINUOUS CURRENT RATING
OF CABLES
(100% LOAD FACTOR)**

APPENDIX C

DIGITAL CALCULATION OF QUANTITIES GIVEN GRAPHICALLY

C1. Introduction

This appendix gives formulae and methods suitable for digital calculation for those quantities given graphically in IEC Publication 287. The page numbers quoted are those of the reprint of the first edition of IEC Publication 287, which incorporated Amendments Nos 1 and 2.

Three methods have been used for digital computation. The first method is approximation by algebraic expressions, followed by quadratic or linear interpolation where necessary. The maximum percentage error prior to interpolation is given for each case. Method 2, adopted for the calculation of heat dissipation coefficients for cables in air, is the storage of sufficient values so that linear interpolation gives the required result. Accordingly, the values prior to linear interpolation are given in this appendix. Method 2 has been chosen instead of algebraic approximation so that a method is immediately available whatever changed values of heat dissipation coefficients may be adopted in the future. Finally, Method 3 is an iterative procedure used in place of the solution of a quintic equation.

C2. Geometric factor G for three-core belted cables with circular conductors (Figure 2, page 63, of Publication 287)

Denote $X = t_1/d_c$
 $Y = (2 t_1/t) - 1$

Then $G = MG_s$

where:

$$M = \text{Mie formula} = 2.3 \log_{10} \frac{1 - \alpha\beta + [(1 - \alpha^2)(1 - \beta^2)]^{1/2}}{\alpha - \beta}$$

$$\alpha = \frac{1}{\left[1 + \frac{2X}{1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{2X}{1+Y} \right)} \right]^3}$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{\frac{2}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{2X}{1+Y} \right) - 3}{\frac{2}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{2X}{1+Y} \right) + 3}$$

$G_s = G_s(X, Y)$, c'est-à-dire est une fonction de X et Y . Calculer les trois quantités $G_s(X, 0)$, $G_s(X, 0,5)$ et $G_s(X, 1)$ où :

$$G_s(X, 0) = 1,094\,14 - 0,094\,4045\,X + 0,023\,4464\,X^2$$

$$G_s(X, 0,5) = 1,096\,05 - 0,080\,1857\,X + 0,017\,6917\,X^2$$

$$G_s(X, 1) = 1,098\,31 - 0,072\,0631\,X + 0,014\,5909\,X^2$$

et obtenir $G_s(X, Y)$ par interpolation quadratique entre les trois valeurs calculées.

Ceci peut s'effectuer en substituant $G_s(X, 0)$, $G_s(X, 0,5)$ et $G_s(X, 1)$ dans la formule suivante :

$$G_s(X, Y) = G_s(X, 0) + Y [-3\,G_s(X, 0) + 4\,G_s(X, 0,5) - G_s(X, 1)] \\ + Y^2 [2\,G_s(X, 0) - 4\,G_s(X, 0,5) + 2\,G_s(X, 1)]$$

Le pourcentage d'erreur maximal dans le calcul de $G_s(X, 0)$, $G_s(X, 0,5)$ et $G_s(X, 1)$ est inférieur à 0,5% par rapport aux valeurs graphiques correspondantes.

C3. Résistance thermique des câbles tripolaires métallisés à ceinture à conducteurs ronds rapportée à celle des câbles correspondants non métallisés (figure 3, page 64, de la Publication 287)

Indiquer $X = (\delta_1 \rho_T)/(d_c \rho_m)$

$$Y = t_1/d_c$$

Le facteur de métallisation K est une fonction de X et Y . Calculer les trois quantités $K(X, 0,2)$, $K(X, 0,6)$ et $K(X, 1)$ avec la formule suivante selon que $0 < X \leq 6$ ou $6 < X \leq 25$.

$$0 < X \leq 6 \quad K(X, 0,2) = 0,998\,095 - 0,123\,369\,X + \\ + 0,020\,2620\,X^2 - 0,001\,416\,67\,X^3$$

$$K(X, 0,6) = 0,999\,452 - 0,089\,6589\,X + \\ + 0,012\,0239\,X^2 - 0,000\,722\,228\,X^3$$

$$K(X, 1) = 0,997\,976 - 0,052\,8571\,X + \\ + 0,003\,452\,38\,X^2$$

$$6 < X \leq 25 \quad K(X, 0,2) = 0,824\,160 - 0,028\,8721\,X + \\ + 0,000\,928\,511\,X^2 - 0,000\,013\,7121\,X^3$$

$$K(X, 0,6) = 0,853\,348 - 0,024\,6874\,X + \\ + 0,000\,966\,967\,X^2 - 0,000\,015\,9967\,X^3$$

$$K(X, 1) = 0,883\,287 - 0,015\,3782\,X + \\ + 0,000\,260\,292\,X^2$$

$K(X, Y)$ est ensuite obtenu par interpolation quadratique entre les trois valeurs calculées. Cela peut s'effectuer par substitution dans la formule suivante.

$$K(X, Y) = K(X, 0,2) + Z [-3\,K(X, 0,2) + 4\,K(X, 0,6) - K(X, 1)] \\ + Z^2 [2\,K(X, 0,2) - 4\,K(X, 0,6) + 2\,K(X, 1)]$$

où $Z = 1,25\,Y - 0,25$

Le pourcentage d'erreur maximal dans le calcul du facteur de correction sectoral est inférieur à 0,5% par rapport aux valeurs graphiques indiquées.

$G_s = G_s(X, Y)$, i.e., is a function of both X and Y . Calculate the three quantities $G_s(X, 0)$, $G_s(X, 0.5)$ and $G_s(X, 1)$ where:

$$G_s(X, 0) = 1.094\,14 - 0.094\,4045\,X + 0.023\,4464\,X^2$$

$$G_s(X, 0.5) = 1.096\,05 - 0.080\,1857\,X + 0.017\,6917\,X^2$$

$$G_s(X, 1) = 1.098\,31 - 0.072\,0631\,X + 0.014\,5909\,X^2$$

and obtain $G_s(X, Y)$ by quadratic interpolation between the three calculated values.

This may be done by substituting $G_s(X, 0)$, $G_s(X, 0.5)$ and $G_s(X, 1)$ in the following formula:

$$G_s(X, Y) = G_s(X, 0) + Y [-3\,G_s(X, 0) + 4\,G_s(X, 0.5) - G_s(X, 1)] \\ + Y^2 [2\,G_s(X, 0) - 4\,G_s(X, 0.5) + 2\,G_s(X, 1)]$$

The maximum percentage error in the calculation of $G_s(X, 0)$, $G_s(X, 0.5)$ and $G_s(X, 1)$ is less than 0.5% compared with corresponding graphical values.

C3. Thermal resistance of three-core screened cables with circular conductors compared to that of a corresponding unscreened cable (Figure 3, page 64, of Publication 287)

Denote $X = (\delta_1 \rho_T)/(d_c \rho_m)$

$$Y = t_1/d_c$$

The screening factor K is a function of both X and Y . Calculate the three quantities $K(X, 0.2)$, $K(X, 0.6)$ and $K(X, 1)$ from the following formulae according to whether $0 < X \leq 6$ or $6 < X \leq 25$.

$$0 < X \leq 6 \quad K(X, 0.2) = 0.998\,095 - 0.123\,369\,X + \\ + 0.020\,2620\,X^2 - 0.001\,416\,67\,X^3$$

$$K(X, 0.6) = 0.999\,452 - 0.089\,6589\,X + \\ + 0.012\,0239\,X^2 - 0.000\,722\,228\,X^3$$

$$K(X, 1) = 0.997\,976 - 0.052\,8571\,X + \\ + 0.003\,452\,38\,X^2$$

$$6 < X \leq 25 \quad K(X, 0.2) = 0.824\,160 - 0.028\,8721\,X + \\ + 0.000\,928\,511\,X^2 - 0.000\,013\,7121\,X^3$$

$$K(X, 0.6) = 0.853\,348 - 0.024\,6874\,X + \\ + 0.000\,966\,967\,X^2 - 0.000\,015\,9967\,X^3$$

$$K(X, 1) = 0.883\,287 - 0.015\,3782\,X + \\ + 0.000\,260\,292\,X^2$$

$K(X, Y)$ is then obtained by quadratic interpolation between the three calculated values. This may be done by substitution in the following formula.

$$K(X, Y) = K(X, 0.2) + Z [-3\,K(X, 0.2) + 4\,K(X, 0.6) - K(X, 1)] \\ + Z^2 [2\,K(X, 0.2) - 4\,K(X, 0.6) + 2\,K(X, 1)]$$

where $Z = 1.25\,Y - 0.25$

The maximum percentage error in the calculation of the sector correction factor is less than 0.5% compared with graphical values.

C4. Résistance thermique des câbles tripolaires métallisés à conducteurs sectoriaux rapportée à celle des câbles analogues non métallisés (figure 4, page 65, de la Publication 287)

Indiquer $X = (\delta_1 \rho_T) / (d_x \rho_m)$

$$Y = t_1 / d_x$$

Le facteur de métallisation K est une fonction de X et Y . Calculer les trois quantités $K(X, 0,2)$, $K(X, 0,6)$ et $K(X, 1)$ avec la formule suivante selon que $0 < X \leq 3$, $3 < X \leq 6$ ou $6 < X \leq 25$.

$$\begin{aligned} 0 < X \leq 3 \quad K(X, 0,2) &= 1,001\,69 - 0,0945\,X + 0,007\,523\,81\,X^2 \\ K(X, 0,6) &= 1,001\,71 - 0,076\,9286\,X + 0,005\,357\,14\,X^2 \\ K(X, 1) &= K(X, 0,6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3 < X \leq 6 \quad K(X, 0,2) \text{ et } K(X, 0,6) &\text{ sont donnés par la même formule} \\ &\text{comme pour } 0 < X \leq 3 \\ K(X, 1) &= 1,001\,17 - 0,075\,2143\,X + 0,005\,333\,34\,X^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6 < X \leq 25 \quad K(X, 0,2) &= 0,811\,646 - 0,023\,8413\,X \\ &\quad + 0,000\,994\,933\,X^2 - 0,000\,015\,5152\,X^3 \\ K(X, 0,6) &= 0,833\,598 - 0,022\,3155\,X \\ &\quad + 0,000\,978\,956\,X^2 - 0,000\,015\,8311\,X^3 \\ K(X, 1) &= 0,842\,875 - 0,022\,7255\,X \\ &\quad + 0,001\,058\,25\,X^2 - 0,000\,017\,7427\,X^3 \end{aligned}$$

Lorsque $0 < X \leq 3$ et $0,2 < Y \leq 0,6$, $K(X, Y)$ est obtenu par interpolation linéaire entre $K(X, 0,2)$ et $K(X, 0,6)$ comme suit:

$$K(X, Y) = K(X, 0,2) + 2,5(Y - 0,2)[K(X, 0,6) - K(X, 0,2)]$$

Lorsque $3 < X \leq 25$, $K(X, Y)$ est alors obtenu par interpolation quadratique entre les trois valeurs calculées. La formule correspondante est la suivante:

$$\begin{aligned} K(X, Y) &= K(X, 0,2) + Z[-3K(X, 0,2) + 4K(X, 0,6) - K(X, 1)] \\ &\quad + Z^2[2K(X, 0,2) - 4K(X, 0,6) + 2K(X, 1)] \end{aligned}$$

où $Z = 1,25Y - 0,25$

Le pourcentage d'erreur maximal dans le facteur de correction sectoriel est inférieur à 1% par rapport aux valeurs graphiques.

C5. Facteur géométrique $\bar{G}$ pour la résistance thermique des bourrages et revêtements des câbles triplombs ou sous gaines d'aluminium individuelles (figure 5, page 66, de la Publication 287)

Indiquer $X = \text{épaisseur du matériau entre gaines et armure exprimée en fraction du diamètre extérieur de la gaine.}$

La courbe inférieure est donnée par:

$$\begin{aligned} 0 < X \leq 0,03 \quad \bar{G} &= 2\pi(0,000\,202\,380 + 2,032\,14\,X - 21,6667\,X^2) \\ 0,03 < X \leq 0,15 \quad \bar{G} &= 2\pi(0,012\,6529 + 1,101\,X - 4,561\,04\,X^2 + 11,5093\,X^3) \end{aligned}$$

Le pourcentage d'erreur maximal dans le calcul de $\bar{G}$ est inférieur à 1%.

C4. Thermal resistance of three-core screened cables with sector-shaped conductors compared with that of a corresponding unscreened cable (Figure 4, page 65, of Publication 287)

Denote $X = (\delta_1 \rho_T) / (d_x \rho_m)$

$Y = t_1 / d_x$

The screening factor K is a function of both X and Y . Calculate the three quantities $K(X, 0.2)$, $K(X, 0.6)$ and $K(X, 1)$ from the following formulae according to whether $0 < X \leq 3$, $3 < X \leq 6$ or $6 < X \leq 25$.

$$\begin{aligned} 0 < X \leq 3 \quad K(X, 0.2) &= 1.00169 - 0.0945X + 0.00752381X^2 \\ K(X, 0.6) &= 1.00171 - 0.0769286X + 0.00535714X^2 \\ K(X, 1) &= K(X, 0.6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3 < X \leq 6 \quad K(X, 0.2) \text{ and } K(X, 0.6) &\text{ are given by the same formula as for } 0 < X \leq 3 \\ K(X, 1) &= 1.00117 - 0.0752143X + 0.00533334X^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6 < X \leq 25 \quad K(X, 0.2) &= 0.811646 - 0.0238413X \\ &\quad + 0.000994933X^2 - 0.0000155152X^3 \\ K(X, 0.6) &= 0.833598 - 0.0223155X \\ &\quad + 0.000978956X^2 - 0.0000158311X^3 \\ K(X, 1) &= 0.842875 - 0.0227255X \\ &\quad + 0.00105825X^2 - 0.0000177427X^3 \end{aligned}$$

For $0 < X \leq 3$ and $0.2 < Y \leq 0.6$, $K(X, Y)$ is obtained by linear interpolation between $K(X, 0.2)$ and $K(X, 0.6)$ as follows:

$$K(X, Y) = K(X, 0.2) + 2.5(Y - 0.2)[K(X, 0.6) - K(X, 0.2)]$$

For $3 < X \leq 25$, $K(X, Y)$ is obtained by quadratic interpolation between the three calculated values. The relevant formula is:

$$\begin{aligned} K(X, Y) &= K(X, 0.2) + Z[-3K(X, 0.2) + 4K(X, 0.6) - K(X, 1)] \\ &\quad + Z^2[2K(X, 0.2) - 4K(X, 0.6) + 2K(X, 1)] \end{aligned}$$

where $Z = 1.25Y - 0.25$

The maximum percentage error in the calculation of the sector correction factor is less than 1% compared with graphical values.

C5. Curves for $\bar{G}$ for obtaining the thermal resistance of the filling material between the sheaths and armour of S.L. and S.A. type cables (Figure 5, page 66, of Publication 287)

Denote X = thickness of material between sheaths and armour expressed as a fraction of the outer diameter of the sheath.

The lower curve is given by:

$$\begin{aligned} 0 < X \leq 0.03 \quad \bar{G} &= 2\pi(0.000202380 + 2.03214X - 21.6667X^2) \\ 0.03 < X \leq 0.15 \quad \bar{G} &= 2\pi(0.0126529 + 1.101X - 4.56104X^2 + 11.5093X^3) \end{aligned}$$

The maximum percentage error in the calculation of $\bar{G}$ is less than 1%.

La courbe supérieure de la figure 5 de la Publication 287 est donnée par:

$$\begin{aligned} 0 < X \leq 0,03 & \quad \bar{G} = 2\pi (0,000\,226\,19 + 2,114\,29 X - 20,4762 X^2) \\ 0,03 < X \leq 0,15 & \quad \bar{G} = 2\pi (0,014\,2108 + 1,175\,33 X - 4,497\,37 X^2 + 10,6352 X^3) \end{aligned}$$

Le pourcentage d'erreur maximal dans le calcul de $\bar{G}$ est inférieur à 1%.

C6. Coefficient de dissipation de chaleur pour les câbles posés à l'air libre (figure 6, page 67, de la Publication 287)

La méthode générale de calcul est l'interpolation linéaire des valeurs enregistrées dans le programme. Les valeurs données dérivent des valeurs d'origine utilisées dans l'élaboration des courbes. Cependant, lors de la préparation des courbes, quelques-unes des valeurs d'origine ont été arrondies. Les valeurs réelles sont les suivantes:

a) Un câble (1) noir

Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$	Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$
1	0,000 697	6	0,000 465
1,5	0,000 645	6,5	0,000 461
2	0,000 596	7	0,000 458
2,5	0,000 560	7,5	0,000 456
3	0,000 528	8	0,000 454
3,5	0,000 505	8,5	0,000 452
4	0,000 491	9	0,000 451
4,5	0,000 482	9,5	0,000 450
5	0,000 475	10	0,000 450
5,5	0,000 469		

b) Un câble (1) brillant

Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$	Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$
1	0,000 522	5,25	0,000 364
1,25	0,000 473	5,5	0,000 363
1,5	0,000 443	5,75	0,000 362
1,75	0,000 422	6	0,000 361
2	0,000 406	6,25	0,000 360
2,25	0,000 395	6,5	0,000 359
2,5	0,000 387	6,75	0,000 358
2,75	0,000 382	7	0,000 357
3	0,000 378	7,25	0,000 356
3,25	0,000 375	7,5	0,000 355
3,5	0,000 373	7,75	0,000 354
3,75	0,000 371	8	0,000 353
4	0,000 369	8,25	0,000 352
4,25	0,000 368	8,5	0,000 351
4,5	0,000 367	8,75	0,000 350
4,75	0,000 366	9	0,000 349
5	0,000 365	9,25	0,000 349

c) Deux câbles (2) noirs — 9 cm entre les axes

Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$	Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$
2,0	0,000 574	3,75	0,000 469
2,25	0,000 553	4,0	0,000 459
2,5	0,000 534	4,25	0,000 449
2,75	0,000 518	4,5	0,000 440
3,0	0,000 505	4,75	0,000 431
3,25	0,000 492	5,0	0,000 423
3,5	0,000 480		

The upper curve of Figure 5 of Publication 287 is given below:

$$0 < X \leq 0.03 \quad \bar{G} = 2\pi (0.000\,226\,19 + 2.114\,29 X - 20.4762 X^2)$$

$$0.03 < X \leq 0.15 \quad \bar{G} = 2\pi (0.014\,2108 + 1.175\,33 X - 4.497\,37 X^2 + 10.6352 X^3)$$

The maximum percentage error in the calculation of $\bar{G}$ is less than 1%.

C6. Heat dissipation coefficients for cables in air (Figure 6, page 67, of Publication 287)

The general method for computer purposes is linear interpolation from values stored in the programme. The actual values given are derived from the original values used to produce the curves. However, in producing the curves some smoothing of the original values occurred. The actual values are as follows:

a) One cable (1) black

Diameter, cm	$h[\text{W}/\text{cm}^2 (\text{deg C})^{5/4}]$	Diameter, cm	$h[\text{W}/\text{cm}^2 (\text{deg C})^{5/4}]$
1	0.000 697	6	0.000 465
1.5	0.000 645	6.5	0.000 461
2	0.000 596	7	0.000 458
2.5	0.000 560	7.5	0.000 456
3	0.000 528	8	0.000 454
3.5	0.000 505	8.5	0.000 452
4	0.000 491	9	0.000 451
4.5	0.000 482	9.5	0.000 450
5	0.000 475	10	0.000 450
5.5	0.000 469		

b) One cable (1) bright

Diameter, cm	$h[\text{W}/\text{cm}^2 (\text{deg C})^{5/4}]$	Diameter, cm	$h[\text{W}/\text{cm}^2 (\text{deg C})^{5/4}]$
1	0.000 522	5.25	0.000 364
1.25	0.000 473	5.5	0.000 363
1.5	0.000 443	5.75	0.000 362
1.75	0.000 422	6	0.000 361
2	0.000 406	6.25	0.000 360
2.25	0.000 395	6.5	0.000 359
2.5	0.000 387	6.75	0.000 358
2.75	0.000 382	7	0.000 357
3	0.000 378	7.25	0.000 356
3.25	0.000 375	7.5	0.000 355
3.5	0.000 373	7.75	0.000 354
3.75	0.000 371	8	0.000 353
4	0.000 369	8.25	0.000 352
4.25	0.000 368	8.5	0.000 351
4.5	0.000 367	8.75	0.000 350
4.75	0.000 366	9	0.000 349
5	0.000 365	9.25	0.000 349

c) Two cables (2) black — 9 cm axial spacing

Diameter, cm	$h[\text{W}/\text{cm}^2 (\text{deg C})^{5/4}]$	Diameter, cm	$h[\text{W}/\text{cm}^2 (\text{deg C})^{5/4}]$
2.0	0.000 574	3.75	0.000 469
2.25	0.000 553	4.0	0.000 459
2.5	0.000 534	4.25	0.000 449
2.75	0.000 518	4.5	0.000 440
3.0	0.000 505	4.75	0.000 431
3.25	0.000 492	5.0	0.000 423
3.5	0.000 480		

d) Deux câbles (2) brillants — 9 cm entre les axes

Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$	Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$
2,0	0,000 508	3,75	0,000 397
2,25	0,000 486	4,0	0,000 386
2,5	0,000 467	4,25	0,000 376
2,75	0,000 451	4,5	0,000 367
3,0	0,000 437	4,75	0,000 358
3,25	0,000 423	5	0,000 351
3,5	0,000 410		

e) Deux câbles (2) noirs jointifs

Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$
1,0	0,000 482
1,25	0,000 455
1,5	0,000 441
1,75	0,000 432
2,0	0,000 425
2,25	0,000 419
2,5	0,000 415
2,75	0,000 412
3,0	0,000 409

f) Deux câbles (2) brillants jointifs et trois câbles (3) noirs jointifs

Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$	Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$
1,0	0,000 365	6,0	0,000 292
1,5	0,000 351	6,5	0,000 289
2,0	0,000 340	7,0	0,000 287
2,5	0,000 331	7,5	0,000 285
3,0	0,000 322	8,0	0,000 283
3,5	0,000 315	8,5	0,000 282
4,0	0,000 308	9,0	0,000 281
4,5	0,000 303	9,5	0,000 280
5,0	0,000 299	10,0	0,000 280
5,5	0,000 295		

g) Trois câbles (3) noirs — 9 cm entre les axes

Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$	Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$
2,0	0,000 574	3,75	0,000 462
2,25	0,000 553	4,0	0,000 450
2,5	0,000 534	4,25	0,000 439
2,75	0,000 518	4,5	0,000 429
3,0	0,000 503	4,75	0,000 419
3,25	0,000 488	5,0	0,000 409
3,5	0,000 475		

h) Trois câbles (3) noirs jointifs

Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$
1,0	0,000 434
1,25	0,000 408
1,5	0,000 392
1,75	0,000 382
2,0	0,000 374
2,25	0,000 368
2,5	0,000 363
2,75	0,000 358
3,0	0,000 354

d) Two cables (2) bright — 9 cm axial spacing

Diameter, cm	$h[W/cm^2 \text{ (deg C)}^{5/4}]$	Diameter, cm	$h[W/cm^2 \text{ (deg C)}^{5/4}]$
2.0	0.000 508	3.75	0.000 397
2.25	0.000 486	4.0	0.000 386
2.5	0.000 467	4.25	0.000 376
2.75	0.000 451	4.5	0.000 367
3.0	0.000 437	4.75	0.000 358
3.25	0.000 423	5	0.000 351
3.5	0.000 410		

e) Two cables (2) black touching

Diameter, cm	$h[W/cm^2 \text{ (deg C)}^{5/4}]$
1.0	0.000 482
1.25	0.000 455
1.5	0.000 441
1.75	0.000 432
2.0	0.000 425
2.25	0.000 419
2.5	0.000 415
2.75	0.000 412
3.0	0.000 409

f) Two cables (2) bright touching and three cables (3') black touching

Diameter, cm	$h[W/cm^2 \text{ (deg C)}^{5/4}]$	Diameter, cm	$h[W/cm^2 \text{ (deg C)}^{5/4}]$
1.0	0.000 365	6.0	0.000 292
1.5	0.000 351	6.5	0.000 289
2.0	0.000 340	7.0	0.000 287
2.5	0.000 331	7.5	0.000 285
3.0	0.000 322	8.0	0.000 283
3.5	0.000 315	8.5	0.000 282
4.0	0.000 308	9.0	0.000 281
4.5	0.000 303	9.5	0.000 280
5.0	0.000 299	10.0	0.000 280
5.5	0.000 295		

g) Three cables (3) black — 9 cm axial spacing

Diameter, cm	$h[W/cm^2 \text{ (deg C)}^{5/4}]$	Diameter, cm	$h[W/cm^2 \text{ (deg C)}^{5/4}]$
2.0	0.000 574	3.75	0.000 462
2.25	0.000 553	4.0	0.000 450
2.5	0.000 534	4.25	0.000 439
2.75	0.000 518	4.5	0.000 429
3.0	0.000 503	4.75	0.000 419
3.25	0.000 488	5.0	0.000 409
3.5	0.000 475		

h) Three cables (3) black touching

Diameter, cm	$h[W/cm^2 \text{ (deg C)}^{5/4}]$
1.0	0.000 434
1.25	0.000 408
1.5	0.000 392
1.75	0.000 382
2.0	0.000 374
2.25	0.000 368
2.5	0.000 363
2.75	0.000 358
3.0	0.000 354

i) Trois câbles (3) brillants jointifs

Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$
1,0	0,000 306
1,5	0,000 297
2,0	0,000 288
2,5	0,000 280
3,0	0,000 273
3,5	0,000 268
4,0	0,000 266

j) Trois câbles (3') brillants jointifs

Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$	Diamètre, cm	$h[W/cm^2 (deg C)^{5/4}]$
1,0	0,000 262	6,0	0,000 223
1,5	0,000 253	6,5	0,000 222
2,0	0,000 246	7,0	0,000 221
2,5	0,000 240	7,5	0,000 220
3,0	0,000 235	8,0	0,000 219
3,5	0,000 231	8,5	0,000 218
4,0	0,000 228	9,0	0,000 218
4,5	0,000 226	9,5	0,000 217
5,0	0,000 225	10,0	0,000 217
5,5	0,000 224		

C7. Calcul de la résistance thermique externe T_4 des câbles dans l'air (figure 7, page 68, de la Publication 287)

La méthode graphique de la Publication 287 n'est pas adaptée à l'utilisation de l'ordinateur. A la place, on peut adopter la méthode ci-dessous. La terminologie utilisée est décrite dans le paragraphe 9.1 de la Publication 287.

a) Calculer la valeur de $K_A = \frac{\pi D_c h}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} \left[\frac{T_1}{n} + T_2 (1 + \lambda_1) + T_3 (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \right]$

b) Utiliser la méthode itérative:

$$X_{n+1} = \frac{(\Delta\theta + \Delta\theta_d)^{1/4}}{(1 + K_A X_n)^{1/4}}$$

en commençant par $X_1 = [(\Delta\theta + \Delta\theta_d)/(1 + 2K_A)]^{1/4}$ et en arrêtant l'itération lorsque $|X_{n+1} - X_n| < 0,001$.

(Cinq itérations sont généralement suffisantes.)

c) $(\Delta\theta_s)^{1/4} = X_{n+1}$

d) $T_4 = \frac{1}{\pi D_c h (\Delta\theta_s)^{1/4}}$

C8. Calcul numérique des quantités spécifiées graphiquement pour le calcul des intensités dans les câbles bipolaires

C8.1 Introduction

Dans la modification N° 3 de la Publication 287, au paragraphe 8.1.2.3, sont spécifiés des câbles bipolaires à ceinture avec conducteur rond et le facteur géométrique G est indiqué sur la figure 2A; le calcul numérique est donné ci-après.

i) Three cables (3) bright touching

Diameter, cm	$h[W/cm^2 (\text{deg C})^{5/4}]$
1.0	0.000 306
1.5	0.000 297
2.0	0.000 288
2.5	0.000 280
3.0	0.000 273
3.5	0.000 268
4.0	0.000 266

j) Three cables (3') bright touching

Diameter, cm	$h[W/cm^2 (\text{deg C})^{5/4}]$	Diameter, cm	$h[W/cm^2 (\text{deg C})^{5/4}]$
1.0	0.000 262	6.0	0.000 223
1.5	0.000 253	6.5	0.000 222
2.0	0.000 246	7.0	0.000 221
2.5	0.000 240	7.5	0.000 220
3.0	0.000 235	8.0	0.000 219
3.5	0.000 231	8.5	0.000 218
4.0	0.000 228	9.0	0.000 218
4.5	0.000 226	9.5	0.000 217
5.0	0.000 225	10.0	0.000 217
5.5	0.000 224		

C7. Calculation of external thermal resistance T_4 of cables in air (Figure 7, page 68, of Publication 287)

The graphical procedure of Publication 287 is not suitable for digital computer use. Instead, the following procedure may be adopted. The terminology is that of Sub-clause 9.1 of Publication 287.

a) Calculate the value of $K_A = \frac{\pi D_e h}{1 + \lambda_1 + \lambda_2} \left[\frac{T_1}{n} + T_2 (1 + \lambda_1) + T_3 (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \right]$

b) Perform the iterative process:

$$X_{n+1} = \frac{(\Delta\theta + \Delta\theta_d)^{1/4}}{(1 + K_A X_n)^{1/4}}$$

starting with $X_1 = [(\Delta\theta + \Delta\theta_d)/(1 + 2K_A)]^{1/4}$ and terminating the iteration when $|X_{n+1} - X_n| < 0.001$.

(Five iterations are usually sufficient.)

c) $(\Delta\theta_s)^{1/4} = X_{n+1}$

d) $T_4 = \frac{1}{\pi D_e h (\Delta\theta_s)^{1/4}}$

C8. Digital calculation of quantities specified graphically for the calculation of twin-core current ratings

C8.1 Introduction

In Amendment No. 3 to Publication 287, under Sub-clause 8.1.2.3, two-core belted cables with circular conductors are specified and the geometric factor G is given in Figure 2A; the digital calculation is given below.