

INTERNATIONAL
STANDARD

IEC
CEI

NORME
INTERNATIONALE

60287-3-3

First edition
Première édition
2007-05

**Electric cables –
Calculation of the current rating –**

**Part 3-3:
Sections on operating conditions –
Cables crossing external heat sources**

**Câbles électriques –
Calcul de la capacité de transport –**

**Partie 3-3:
Sections relatives aux conditions d'exploitation –
Câbles croisant des sources de chaleur externes**



Reference number
Numéro de référence
IEC/CEI 60287-3-3:2007



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2007 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

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

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

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

INTERNATIONAL
STANDARD

IEC
CEI

NORME
INTERNATIONALE

60287-3-3

First edition
Première édition
2007-05

**Electric cables –
Calculation of the current rating –**

**Part 3-3:
Sections on operating conditions –
Cables crossing external heat sources**

**Câbles électriques –
Calcul de la capacité de transport –**

**Partie 3-3:
Sections relatives aux conditions d'exploitation –
Câbles croisant des sources de chaleur externes**



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

PRICE CODE
CODE PRIX

Q

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

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Symbols	6
4 Description of method.....	7
4.1 General description	7
4.2 Single source crossing	9
4.3 Several crossings.....	10
4.4 Rating of two crossing cables	11
Annex A (informative) Example calculation	12
Annex B (informative) Temperature rise calculation at any point along the route.....	17
Figure 1 – Illustration of a heat source crossing rated cable.....	8
Figure A.1 – Cable configuration.....	12
Table A.1 – Cable and installation data.....	13
Table A.2 – Rating factor for the 300 mm ² XLPE 10 kV circuit.....	14
Table A.3 – Rating factor for the 400 mm ² 132 kV cable	15
Table A.4 – Rating factors	16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTRIC CABLES – CALCULATION OF THE CURRENT RATING –

Part 3-3: Sections on operating conditions – Cables crossing external heat sources

FOREWORD

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

International Standard IEC 60287-3-3 has been prepared by IEC technical committee 20: Electric cables.

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

FDIS	Report on voting
20/879/FDIS	20/882/RVD

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

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

A list of all the parts in the IEC 60287 series, under the general title *Electric cables – Calculation of the current rating*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

In the IEC 60287 series, Part 1 provides general formulae for ratings and power losses of electric cables.

Part 2 presents formulae for thermal resistance, with Part 2-1 providing general calculation methods for thermal resistance.

Part 2-1 provides calculation methods for dealing with groups of buried cables (see 2.2.3). These methods assume that the cables are laid in parallel and hence every cable acts as a parallel line heat source.

This Part 3-3 deals with the crossing of a cable, at right angles or obliquely with another cable, and, more generally, with any linear heat source, such as steam pipes.

When heat sources are installed in the vicinity of a cable, the permissible current-carrying capacity of the cable should be reduced to avoid overheating. But applying formulae that are valid for parallel routes would overestimate the thermal influence of the crossing heat source on the cable.

In this standard a general simplified method is provided to estimate the reduction of the permissible current-carrying capacity of a cable crossed by heat sources.

Every cable and heat source is assumed to be laid horizontally.

ELECTRIC CABLES – CALCULATION OF THE CURRENT RATING –

Part 3-3: Sections on operating conditions – Cables crossing external heat sources

1 Scope

This part of IEC 60287 describes a method for calculating the continuous current rating factor for cables of all voltages where crossings of external heat sources are involved. The method is applicable to any type of cable.

The method assumes that the entire region surrounding a cable, or cables, has uniform thermal characteristics and that the principle of superposition applies. The principle of superposition does not strictly apply to touching cables and hence the calculation method set out in this standard will produce an optimistic result if applied to touching cables.

2 Normative references

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

IEC 60287 (all parts), *Electric cables – Calculation of the current rating*

3 Symbols

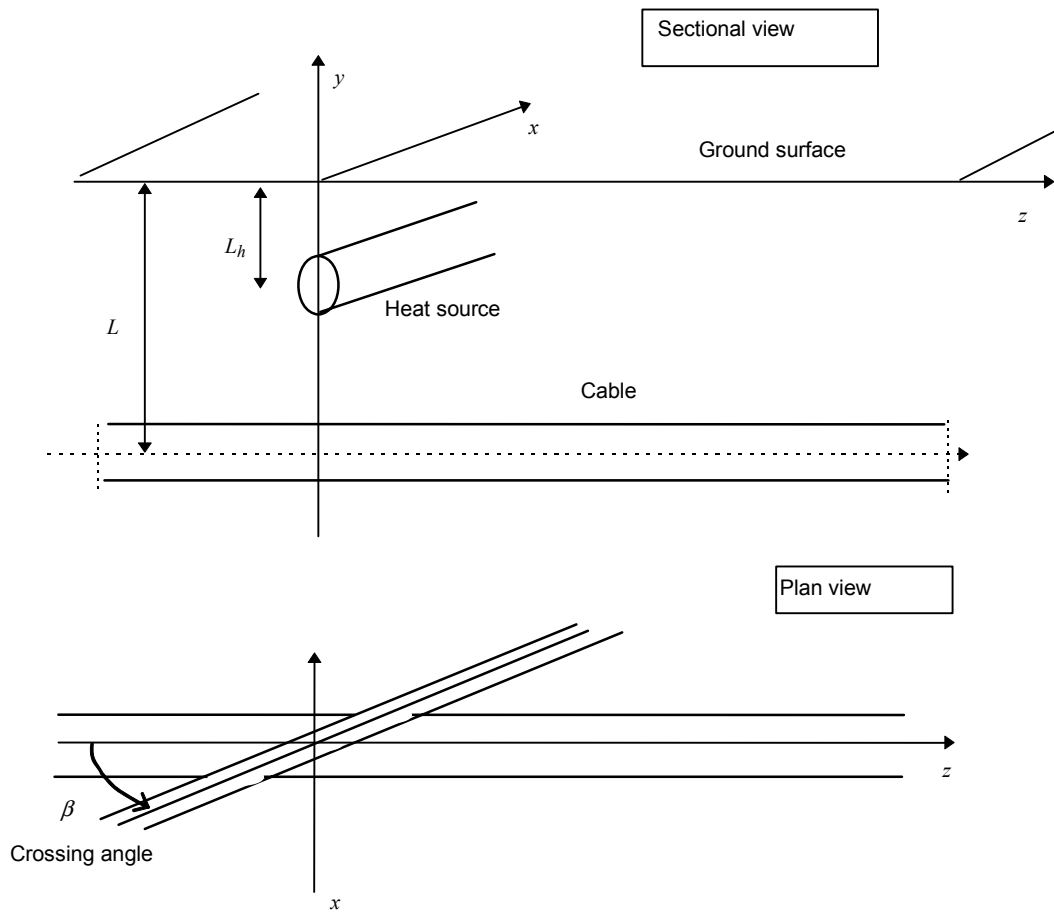
A	Conductor cross-sectional area	mm ²
DF	Ratio of the permissible current when taking into account the presence of crossing heat sources to the permissible current of the isolated cable (derating factor)	-
I	Maximum permissible current of the rated cable when isolated	A
L	Depth of laying, to cable axis, of the rated cable	m
L_h	Depth of laying of heat source h	m
N	Number of intervals in the spatial discretization for the calculations	
T_1	Thermal resistance per core between conductor and sheath	K×m/W
T_2	Thermal resistance between sheath and armour	K×m/W
T_3	Thermal resistance of external serving	K×m/W
T_4	Thermal resistance of surrounding medium (ratio of cable surface temperature rise above ambient to the losses per unit length)	K×m/W
T_{mh}	Mutual thermal resistance between cable and heat source	K×m/W
T	Equivalent thermal resistance of cable per conductor	K×m/W
T_r	Total thermal resistance of cable per conductor	K×m/W
T_L	Thermal longitudinal resistance of a conductor	K/m/W
W_d	Dielectric losses per unit length per phase	W/m

W_g	Heat generated in the rated cable, due to losses in a conductor, assuming a conductor temperature of 20 °C	W/m
W_h	Heat generated by external heat source h	W/m
k	Number of heat sources, crossing the rated cable	-
z_r	Location of the hottest point on the route of the rated cable(z co-ordinate) when several crossings are considered	m
$z_{\max}$	Distance along the cable route from the hottest point to the point where longitudinal heat flux is negligible	m
n	Number of cores	-
α_{20}	Temperature coefficient of electrical resistivity at 20 °C, per Kelvin	K ⁻¹
β	Crossing angle	Radian
γ	Attenuation factor	m ⁻¹
λ_1	Ratio of the total losses in metallic sheaths to the total conductor losses(sheath/screen loss factor)	-
λ_2	Ratio of the total losses in armour to the total conductor losses (armour loss factor)	-
ρ	Soil thermal resistivity	K×m/W
ρ_{cr}	Conductor thermal resistivity	K×m/W
$\theta_{\max}$	Maximum permissible conductor temperature	°C
$\Delta\theta_d$	Conductor temperature rise due to dielectric losses	K
$\Delta\theta_{\max}$	Maximum permissible conductor temperature rise above ambient	K
$\Delta\theta(z)$	Temperature rise of the conductor(s) of the rated cable, due to crossing heat sources, at the point z in the cable route	K
$\Delta\theta(0)$	Temperature rise of the conductor(s) of the rated cable, due to crossing heat sources, at the hottest point in the cable route	K
$\Delta\theta_{uh}(z)$	Temperature rise of the conductor(s) of the rated cable, due to the heat source, h , without taking into account longitudinal heat flux	K
ΔW	Incremental heat generated due to change of conductor resistance	W/K×m
Δz	Length of an interval used in the calculations	m

4 Description of method

4.1 General description

The conditions examined in this standard involve an external heat source crossing the route of the rated cable(s). The crossing heat source can be located either above or below the rated cable(s) with the crossing angle ranging from parallel to perpendicular. An example of such situation is shown in Figure 1.



IEC 742/07

Figure 1 – Illustration of a heat source crossing rated cable

The conductor temperature rise along the route of the rated cable, caused by the heat generated by the crossing heat source, may be calculated using Kennelly's principle. The temperature rise is maximum at the crossing point and decreases with the distance from the crossing. The distance from the crossing along the cable route, where the longitudinal heat flux is negligible, is denoted by z_{max} .

As a consequence of the varying temperature rise along the cable length, a longitudinal heat flux is generated in the conductor, which leads to a reduction in the conductor temperature rise at the crossing, compared to the case when this longitudinal flux is ignored.

The maximum permissible current in the cable to be rated, taking into account the presence of a crossing heat source, is obtained by multiplying the steady-state rating of the cable, without the crossing heat source, by a derating factor, DF , related to the heating due to the heat source:

$$DF = \sqrt{1 - \frac{\Delta\theta(0)}{\Delta\theta_{max} - \Delta\theta_d}} \quad (1)$$

where $\Delta\theta(0)$ is the temperature rise of the conductor due to the crossing heat source, at the crossing point.

4.2 Single source crossing

The value of $\Delta\theta(0)$ is obtained from the following formula by dividing the distance z_{max} into N intervals, each of length Δz :

$$\Delta\theta(0) = \frac{W_h \times \rho \times (e^{\gamma \times \Delta z} - 1)}{4\pi} \sum_{v=1}^N e^{-v \times \gamma \times \Delta z} \ln \frac{(L + L_h)^2 + (v \times \Delta z \times \sin \beta)^2}{(L - L_h)^2 + (v \times \Delta z \times \sin \beta)^2} \quad (2)$$

where

ρ is the soil thermal resistivity;

W_h is the heat generated by external heat source;

β is the crossing angle;

L is the laying depth of the rated cable;

L_h is the laying depth of the heat source.

The attenuation factor γ is expressed as

$$\gamma = \sqrt{(1 - \Delta W \times T) \times \frac{T_L}{T_r}} \quad (3)$$

with

$$T_L = \frac{\rho_{cr}}{A \cdot 10^{-6}} \quad (4)$$

$$T_r = T_1 + n \cdot (T_2 + T_3 + T_4) \quad (5)$$

$$T = T_1 + n \times [(1 + \lambda_1) \times T_2 + (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \times (T_3 + T_4)] \quad (6)$$

$$\Delta\theta_d = W_d \times \left[\frac{T_1}{2} + n \times (T_2 + T_3 + T_4) \right] \quad (7)$$

$$\Delta W = \Delta W_0 \times \left[1 - \frac{\Delta\theta(0)}{\Delta\theta_{max} - \Delta\theta_d} \right] \quad (8)$$

$$\Delta W_0 = \frac{R \times \alpha_{20} \times I^2}{1 + \alpha_{20} \times (\theta_{max} - 20)} \quad (9)$$

where

ρ_{cr} is the conductor thermal resistivity;

For copper $\rho_{cr} = 0,0026$ Kxm/W; for aluminium $\rho_{cr} = 0,0049$ Kxm/W.

A is the conductor cross-sectional area;

α_{20} is the temperature coefficient of electrical resistivity for the conductor material;

I is the maximum permissible current of the rated cable when isolated.

The remaining variables are defined in other parts of the IEC 60287 series.

Typically a value of $\Delta z = 0,01$ m may be used. It has to be verified that:

$$\gamma \times \Delta z < \varepsilon \quad (10)$$

N is determined from:
$$N = \frac{z_{max}}{\Delta z} \text{ with } \Delta\theta_{uh}(N \times \Delta z) < \varepsilon \quad (11)$$

where ε is a small value, typically 0,01. The distance z_{max} is a function of the longitudinal thermal resistance of the conductors, the separation between the cable and the heat source and the heat generated by the crossing source. In the example in Annex A a value of 5 m is used.

$\Delta\theta_{uh}(z)$ represents the temperature rise in the conductor, as a function of the distance z from the crossing, caused by the crossing heat source. This temperature can be obtained by applying Kennelly's principle:

$$\Delta\theta_{uh}(z) = \frac{\rho}{4\pi} \times W_h \times \ln \frac{(L + L_h)^2 + z^2 \times \sin^2 \beta}{(L - L_h)^2 + z^2 \times \sin^2 \beta} \quad (12)$$

As γ depends upon the current in the rated cable, which is to be determined, an iterative solution is necessary, using as a first estimation of this current the rated current when the heat source is assumed to be parallel to the rated cable.

The first estimate of $\Delta\theta(0)$ is as follows:

$$\Delta\theta(0) = \frac{\rho}{4\pi} \times W_h \times \ln \frac{(L + L_h)^2}{(L - L_h)^2} \quad (13)$$

4.3 Several crossings

The derating factor, Equation (1) in 4.1, can be generalized for several heat sources crossing the rated cable by applying a superposition principle. In order to make this generalization, it is assumed that the point $z = 0$ is the position where the temperature of the rated cable is at its maximum.

NOTE If the position of the hottest point can not be predetermined it may be necessary to perform the calculation at several points to ensure that the hottest point is found.

When several heat sources cross the rated cable (for example, the heat source is another cable circuit composed of several cables), the same equation is valid, i.e. the derating factor has the same expression:

$$DF = \sqrt{1 - \frac{\Delta\theta(0)}{\Delta\theta_{max} - \Delta\theta_d}} \quad (14)$$

where the term $\Delta\theta(0)$ takes into account the effect of every heat source h .

$$\Delta\theta(0) = \sum_{h=1}^k T_{mh} \times W_h \quad (15)$$

Let the rated cable have the designation r and z_r be the z -coordinate of the hottest point in cable r . Then, for any other heat source h , located at the z -coordinate $z = z_h$, we have

$$T_{mh} = \frac{\rho \times (e^{\gamma \times \Delta z} - 1)}{4\pi} \times \sum_{v=1}^N e^{-v \times \gamma \times \Delta z} \ln \frac{(L_r + L_h)^2 + [(z_r - z_h) + v \times \Delta z \times \sin \beta_h]^2}{(L_r - L_h)^2 + [(z_r - z_h) + v \times \Delta z \times \sin \beta_h]^2} \quad (16)$$

where

k is the number of heat sources crossing the rated cable;

L_h is the laying depth of heat source h .

The attenuation factor γ shall be calculated from Equation (3) with, as a first estimate:

$$\Delta\theta(0) = \frac{\rho}{4 \times \pi} \times \sum_{h=1}^k W_h \times \ln \frac{(L + L_h)^2 + (z_r - z_h)^2}{(L - L_h)^2 + (z_r - z_h)^2} \quad (17)$$

4.4 Rating of two crossing cables

To calculate the maximum permissible current in each cable, an iterative procedure is necessary. The first stage in the procedure is to calculate the derating factor for one cable, assuming that the other cable is carrying its maximum permissible current, when isolated. The derating factor for the second cable is then calculated, assuming that the first cable is carrying its derated current. This is repeated for each cable until there is no change in the calculated derating factors.

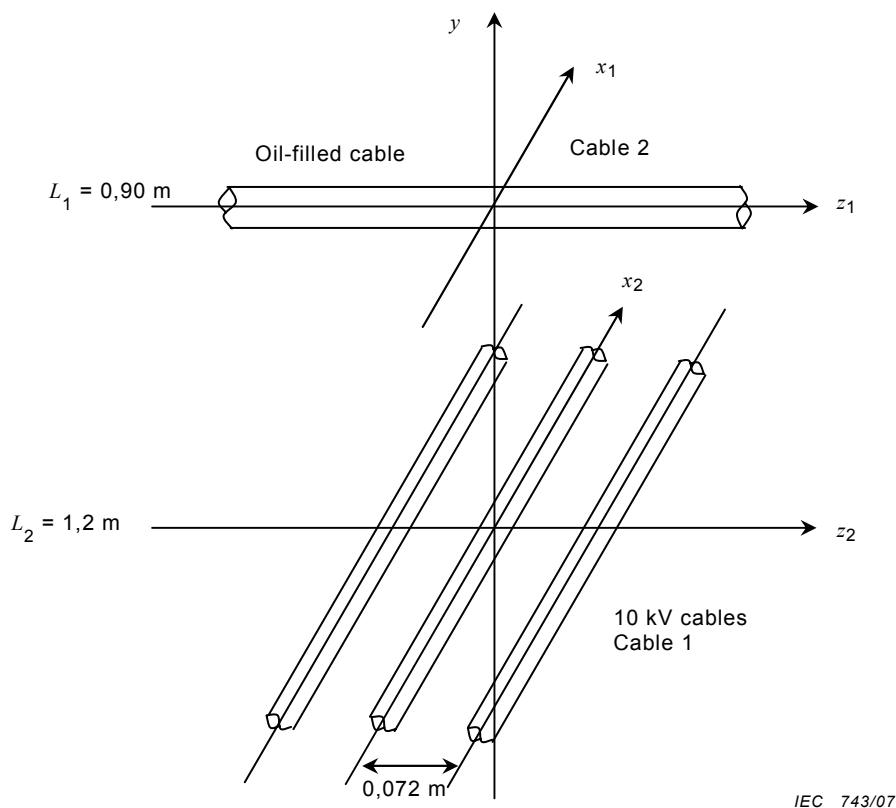
For example consider two circuits having maximum permissible currents, when isolated, I_1 and I_2 :

- First, the derating factor for circuit 1, DF_1 , is calculated, assuming that circuit 2, is carrying its maximum permissible current, I_2 .
- Then, the derating factor for circuit 2, DF_2 , is calculated assuming that circuit 1 is carrying its derated current, $I_1 \times DF_1$. That is W_h is based on $I_1 \times DF_1$.
- A new value for the derating factor for circuit 1, DF_1 , is calculated assuming that circuit 2 is carrying its derated current, $I_2 \times DF_2$. In this calculation the values of $\Delta\theta_{\max}$ and $\theta_{\max}$ in Equations (8) and (9) are based on $I_1 \times DF_1$ and I is replaced by $I_1 \times DF_1$ in Equation (9).
- The derating factor for circuit 2 is then recalculated, as described for circuit 1 in step c).
- Steps c) and d) are repeated until there is no change in the calculated derating factors.

Annex A (informative)

Example calculation

The example chosen is that of a 10 kV circuit of 300 mm² Cu - XLPE single-core cables laid in flat formation (with a 0,072 m spacing) and a 400 mm² Cu -132 kV three-core oil-filled cable.



IEC 743/07

Figure A.1 – Cable configuration

The following details are required for the calculation of the derating factor:

- ambient temperature $\theta_{\text{amb}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$;
- soil resistivity = 0,8 K×m/W;
- crossing angle = 90° (circuits are at right angles).

Table A.1 – Cable and installation data

Cable type	Cable characteristics (hottest cable)		
		10 kV	132 kV
Cross-sectional area	A (mm ²)	300	400
Maximum permissible temperature	$\theta_{\max}$ (°C)	90	85
Current rating of isolated cable	I (A)	665	585
Conductor resistance at $\theta_{\max}$	R (ohm/km)	0,0781	0,0615
Concentric sheath/ screen wires loss factor	λ_1	0,089	0,135
Armour loss factor	λ_2	0	0
Thermal resistance of insulation	T_1 (K×m/W)	0,214	0,835
Thermal resistance of jacket/sheath	T_3 (K×m/W)	0,104	0,090
External thermal resistance 100 % LF	T_4 (K×m/W)	1,427	0,445
Conductor losses per core	W_c (W/m)	34,54	21,05
Dielectric losses per core	W_d (W/m)	0	2,01
Total joule losses per core	W_I (W/m)	37,61	23,89
Total losses per core	W (W/m)	37,61	25,90
Laying depth (m)	L (m)	1,20	0,90

Table A.2 – Derating factor for 300 mm² XLPE 10 kV circuit

Cable type: 300 mm ² XLPE 10 kV			
Characteristics			Equation
Longitudinal thermal resistance of the conductors T_L	K/m×W	$0,0026 / 300 \times 10^{-6} = 8,67$	4
T_r	K×m/W	$0,214 + 0,104 + 1,427 = 1,745$	5
T	K×m/W	$0,214 + 1,09 \times (0,104 + 1,427) = 1,88$	6
$\Delta\theta_{\max}$	°C	$90 - 25 = 65$	
$\Delta\theta_d$	°C	0	7
ΔW_0	W/m	$\frac{0,0781 \times 10^{-3} \times 0,00393 \times 665^2}{1 + 0,00393 \times (90 - 20)} = 10,64 \times 10^{-2}$	9
Computing derating factor		With: $\Delta z = 0,01 \text{ m} - N > 500$	
First estimate of $\Delta\theta$	°C	$\frac{0,8 \times 25,90 \times 3}{4 \times \pi} \times \ln \left[\frac{(1,20 + 0,9)^2}{(1,20 - 0,9)^2} \right] = 19,2$	13
First estimate of ΔW	W/K ×m	$10,64 \times 10^{-2} \times \left(1 - \frac{19,2}{65} \right) = 0,075$	8
First estimate of γ	m ⁻¹	$\sqrt{\frac{(1 - 0,075 \times 1,88) \times 8,67}{1,745}} = 2,07$	3
Final estimate of $\Delta\theta$ (second iteration)	°C	14,1	2
Derating factor DF		$\sqrt{1 - \frac{14,1}{65}} = 0,89$	1

The derating factor calculated above is that which is applied to the current rating of the 10 kV cables to take account of the temperature rise due to the crossing 132 kV cable. This factor does not take account of the temperature rise in the 132 kV cable due to the crossing 10 kV cables (see 4.4).

Table A.3 – Derating factor for 400 mm² 132 kV cable

Cable type: 400 mm ² 132 kV			
Characteristics			Equation
longitudinal thermal resistance of the conductors T_L	K/m×W	$0,002\,6 / 400 \times 10^{-6} = 6,5$	4
T_r	K×m/W	$0,835 + 3 \times (0,09 + 0,445) = 2,44$	5
T	K×m/W	$0,835 + 3 \times 1,135 \times (0,09 + 0,445) = 2,66$	6
$\Delta\theta_{max}$	°C	$85 - 25 = 60$	
$\Delta\theta_d$	°C	$2,01 \times \left[\frac{0,835}{2} + 3 \times (0,09 + 0,445) \right] = 4,1$	7
ΔW_0	W/m	$\frac{0,0615 \times 10^{-3} \times 0,003\,93 \times 585^2}{1 + 0,003\,93 \times (85 - 20)} = 6,59 \times 10^{-2}$	9
Computing derating factor		With: $\Delta z = 0,01\text{ m} - N > 500$	
First estimate of $\Delta\theta$	°C	$\frac{0,8 \times 37,61}{4 \times \pi} \times \left\{ \ln \left[\frac{(1,2 + 0,9)^2}{(1,2 - 0,9)^2} \right] + 2 \times \ln \left[\frac{(1,2 + 0,9)^2 + 0,072^2}{(1,2 - 0,9)^2 + 0,072^2} \right] \right\} = 27,7$	17
First estimate of ΔW	W/K×m	$6,59 \times 10^{-2} \times \left(1 - \frac{27,7}{60 - 5,2} \right) = 0,033$	8
First estimate of γ	m ⁻¹	$\sqrt{\frac{(1 - 0,033 \times 2,66) 6,5}{2,44}} = 1,558$	3
First estimate of mutual thermal resistance:			
Left cable	K×m/W	0,156	16
Middle cable	K×m/W	0,165	16
Right cable	K×m/W	0,174	16
Second estimate of $\Delta\theta$ (1st iteration)	°C	18,6	15
Final estimate of $\Delta\theta$ (2nd iteration)	°C	18,5	15 + 16
Derating factor DF		$\sqrt{1 - \frac{18,5}{60}} = 0,82$	1

The derating factor calculated above is that which is applied to the current rating of the 132 kV cable to take account of the temperature rise due to the crossing 10 kV cables. This factor does not take account of the temperature rise in the 10 kV cable due to the crossing 132 kV cables (see 4.4).

Simultaneous rating of the two links

Using the method set out in 4.4, four iterations were necessary to get the derating factors of the two links when taking into account mutual thermal effects. The final result is as follows:

Table A.4 – Rating factors

Rating of the two links	
Cable type	Rating factor
300 mm ² XLPE 10 kV	0,92
400 mm ² 132 kV	0,85

Annex B (informative)

Temperature rise calculation at any point along the route

The temperature rise at every point, z , can be derived from:

$$\Delta\theta(z) = \Delta\theta_{uh}(m \times \Delta z) + A_m e^{\gamma \times z} + B_m e^{-\gamma \times z}$$

$$\text{for } m \cdot \Delta z \leq z \leq (m+1) \cdot \Delta z$$

the constants A_m and B_m being derived from the following recursive relationships:

$$A_0 = B_0 = \frac{\Delta\theta(0) - \Delta\theta_{uh}(0)}{2}$$

$$A_m = A_{m-1} - \frac{\Delta\theta_{uh}(m \cdot \Delta z) - \Delta\theta_{uh}[(m-1) \cdot \Delta z]}{2} \cdot e^{-\gamma \cdot (m-1) \cdot \Delta z}$$

$$B_m = B_{m-1} - \frac{\Delta\theta_{uh}(m \cdot \Delta z) - \Delta\theta_{uh}[(m-1) \cdot \Delta z]}{2} \cdot e^{\gamma \cdot (m-1) \cdot \Delta z}$$

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	19
INTRODUCTION.....	21
1 Domaine d'application	22
2 Références normatives	22
3 Symboles	22
4 Description de la méthode	23
4.1 Description générale	23
4.2 Croisement unique	25
4.3 Croisements multiples	26
4.4 Dimensionnement de deux câbles se croisant	27
Annexe A (informative) Exemple de calcul	28
Annexe B (informative) Calcul de l'échauffement en tout point du tracé	33
Figure 1 – Illustration d'un câble à dimensionner, croisé par une source de chaleur	24
Figure A.1 – Configuration d'installation des câbles	28
Table A-1 – Données sur les câbles et la configuration d'installation	29
Table A.2 – Coefficient réducteur pour le circuit 300 mm ² PR 10 kV.....	30
Table A.3 – Coefficient réducteur pour le câble 400 mm ² 132 kV	31
Table A.4 – Coefficients réducteurs	32

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CÂBLES ÉLECTRIQUES – CALCUL DE LA CAPACITÉ DE TRANSPORT –

Partie 3-3: Sections relatives aux conditions d'exploitation – Câbles croisant des sources de chaleur externes

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60287-3-3 a été établie par le comité d'études 20 de la CEI: Câbles électriques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
20/879/FDIS	20/882/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60287, présentées sous le titre général *Câbles électriques – Calcul de la capacité de transport*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

Dans la série CEI 60287, la Partie 1 donne des formules générales pour le calcul des capacités de transport des câbles électriques et de leurs pertes.

La Partie 2 présente des formules pour les résistances thermiques, la Partie 2-1 fournissant les méthodes générales de calcul des résistances thermiques.

La Partie 2-1 fournit des méthodes de calcul pour traiter le cas des groupes de câbles enterrés (voir 2.2.3). Ces méthodes supposent que les câbles sont posés parallèlement et que, par conséquent, tous les câbles se comportent comme des sources de chaleur linéaires parallèles.

Cette Partie 3-3 s'intéresse au croisement à angle droit ou oblique d'un câble par un autre câble, et, plus généralement avec toute source de chaleur linéaire, telle que des conduites de vapeur.

Lorsque des sources de chaleur sont installées au voisinage d'un câble, il convient de réduire le courant maximal admissible du câble pour éviter un sur-échauffement. Mais l'application des formules qui sont valables pour des tracés parallèles conduirait à surestimer l'influence thermique sur le câble de la source de chaleur qui le croise.

Dans la présente norme, une méthode générale et simple est présentée pour évaluer la réduction du courant maximal admissible par un câble croisé par une source de chaleur.

Tous les câbles et toutes les sources de chaleur sont supposés posés horizontalement.

CÂBLES ÉLECTRIQUES – CALCUL DE LA CAPACITÉ DE TRANSPORT –

Partie 3-3: Sections relatives aux conditions d'exploitation – Câbles croisant des sources de chaleur externes

1 Domaine d'application

Cette partie de la CEI 60287 donne une méthode de calcul du facteur de dimensionnement en régime de charge continu pour les câbles de toute tension dans le cas de croisements avec des sources de chaleur externes. La méthode est applicable à tous les types de câbles.

La méthode suppose que l'ensemble de la région au voisinage du ou des câbles a des caractéristiques thermiques uniformes et que le principe de superposition est applicable. Le principe de superposition n'est pas applicable, en toute rigueur, dans le cas de câbles jointifs et, par conséquent, la méthode de calcul décrite dans cette norme conduira à un résultat optimiste si elle est appliquée à des câbles jointifs.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60287 (série), *Câbles électriques – Calcul du courant admissible*

3 Symboles

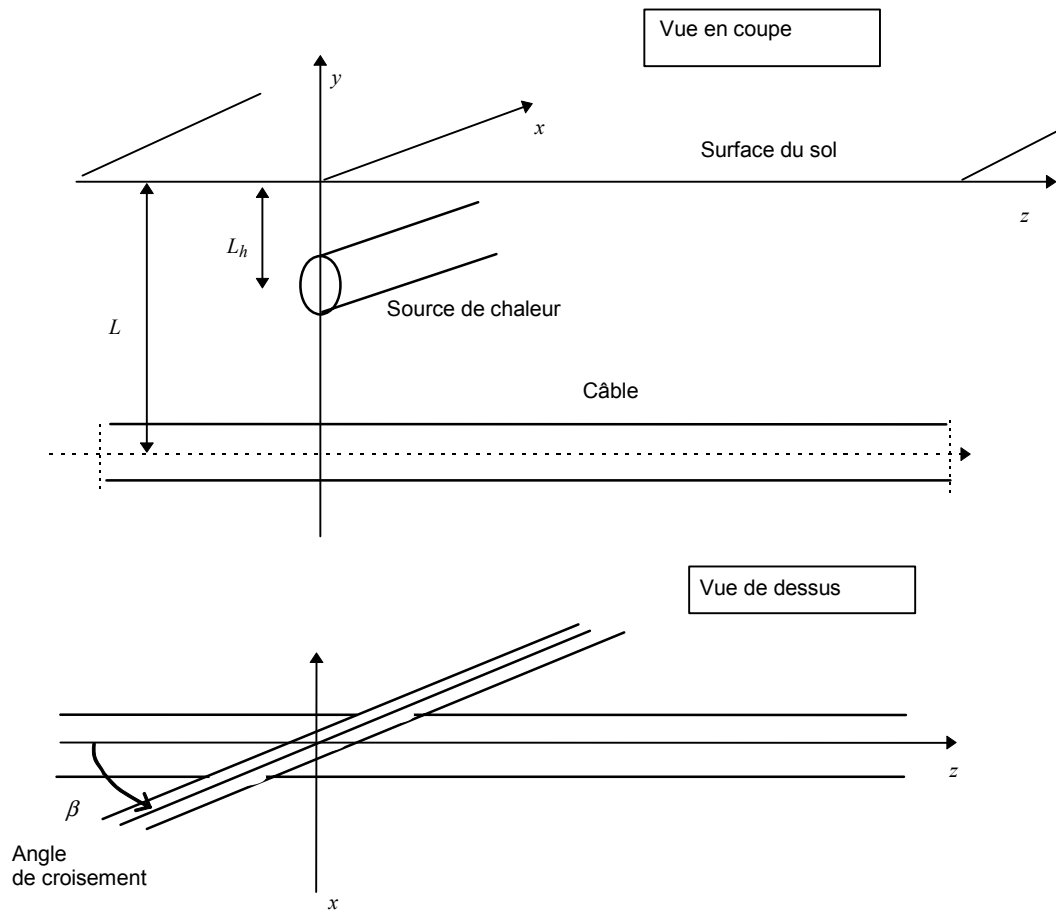
A	Section de l'âme	mm ²
DF	Rapport du courant admissible du câble, compte tenu de la présence de sources de chaleur le croisant, au courant admissible du câble lorsqu'il est seul (Coefficient réducteur)	-
I	Courant maximal admissible du câble dimensionné, lorsqu'il est seul	A
L	Profondeur de pose, à l'axe du câble, pour le câble dimensionné	m
L_h	Profondeur de pose de la source de chaleur h	m
N	Nombre d'intervalles pour la discrétisation spatiale utilisée dans les calculs	
T_1	Résistance thermique entre âme et gaine, par conducteur	K×m/W
T_2	Résistance thermique entre gaine et armure	K×m/W
T_3	Résistance thermique du revêtement	K×m/W
T_4	Résistance thermique du milieu extérieur (rapport de l'échauffement de la surface du câble au-dessus de l'ambiante aux pertes totales par unité de longueur)	K×m/W
T_{mh}	Résistance thermique mutuelle entre câble et source de chaleur	K×m/W
T	Résistance thermique apparente du câble, par conducteur	K×m/W
T_r	Résistance thermique totale du câble, par conducteur	K×m/W
T_L	Résistance thermique longitudinale d'une âme	K/m/W
W_d	Pertes diélectriques par unité de longueur et par phase	W/m

W_g	Chaleur dissipée par le câble dimensionné, due aux pertes dans une âme, pour une température d'âme de 20 °C	W/m
W_h	Chaleur dissipée par la source de chaleur h	W/m
k	Nombre de sources de chaleur croisant le câble dimensionné	-
z_r	Cote du point le plus chaud sur le tracé du câble dimensionné (coordonnée z) dans le cas de croisements multiples	m
$z_{\max}$	Distance le long du tracé de câble à partir du point le plus chaud jusqu'au point où le flux de chaleur longitudinal est négligeable	m
n	Nombre d'âmes	-
α_{20}	Coefficient de variation de la résistivité électrique avec la température à 20 °C, par Kelvin	K ⁻¹
β	Angle de croisement	Radian
γ	Facteur d'atténuation	m ⁻¹
λ_1	Rapport des pertes totales dans les écrans métalliques aux pertes totales des âmes (facteur de pertes écran)	-
λ_2	Rapport des pertes totales dans les armures aux pertes totales des âmes (facteur de pertes armure)	-
ρ	Résistivité thermique du sol	K×m/W
ρ_{cr}	Résistivité thermique de l'âme	K×m/W
$\theta_{\max}$	Température maximale admissible par l'âme	°C
$\Delta\theta_d$	Echauffement de l'âme dû aux pertes diélectriques	K
$\Delta\theta_{\max}$	Echauffement maximal admissible au-dessus de l'ambiante	K
$\Delta\theta(z)$	Echauffement de la ou des âmes du câble dimensionné, dû aux sources de chaleur le croisant, au point z sur son tracé	K
$\Delta\theta(0)$	Echauffement de la ou des âmes du câble dimensionné, dû aux sources de chaleur le croisant, au point z le plus chaud sur son tracé	K
$\Delta\theta_{uh}(z)$	Echauffement de la ou des âmes du câble dimensionné, dû à la source de chaleur, h , sans prise en compte du flux de chaleur longitudinal	K
ΔW	Accroissement de la chaleur dissipée dû à la variation de la résistance de l'âme	W/K×m
Δz	Longueur des intervalles utilisés dans les calculs	m

4 Description de la méthode

4.1 Description générale

On considère dans la présente norme la situation où une source de chaleur externe croise le tracé du ou des câbles dimensionnés. La source de chaleur croisant le ou les câbles dimensionnés peut être placée soit au-dessus soit au-dessous, avec un angle de croisement pouvant aller du cas où elle est parallèle au cas où elle est perpendiculaire. Un exemple d'une telle situation est montré à la Figure 1.



IEC 742/07

Figure 1 – Illustration d'un câble à dimensionner, croisé par une source de chaleur

L'échauffement de l'âme le long du tracé du câble à dimensionner, dû à la chaleur produite par la source de chaleur qui le croise, peut être calculée en utilisant le principe de Kennelly. L'élévation de température est maximale au point de croisement et, à partir de ce point, décroît avec la distance. La distance au croisement le long du tracé du câble où le flux de chaleur longitudinal est négligeable est notée par $z_{\max}$.

Conséquence de l'échauffement variable le long du tracé du câble, un flux de chaleur longitudinal apparaît dans l'âme, ce qui conduit à une réduction de l'élévation de température au niveau du croisement, par rapport au cas où ce flux longitudinal est négligé.

Le courant maximal admissible par le câble à dimensionner, compte tenu de la présence d'une source de chaleur le croisant, est obtenu en multipliant le courant admissible en régime permanent et, en l'absence de source de chaleur le croisant, par un coefficient réducteur DF traduisant l'échauffement dû à la source de chaleur:

$$DF = \sqrt{1 - \frac{\Delta\theta(0)}{\Delta\theta_{\max} - \Delta\theta_d}} \quad (1)$$

où $\Delta\theta(0)$ est l'échauffement de l'âme dû à la source de chaleur croisant le câble, au niveau du croisement.

4.2 Croisement unique

La valeur de $\Delta\theta(0)$ est obtenue à l'aide de la formule suivante en découpant la distance z_{max} en N intervalles, chacun de longueur Δz :

$$\Delta\theta(0) = \frac{W_h \cdot \rho \cdot (e^{\gamma \Delta z} - 1)}{4\pi} \sum_{v=1}^N e^{-v \cdot \gamma \Delta z} \ln \frac{(L + L_h)^2 + (v \cdot \Delta z \cdot \sin \beta)^2}{(L - L_h)^2 + (v \cdot \Delta z \cdot \sin \beta)^2} \quad (2)$$

où

ρ est la résistivité thermique du sol;

W_h est la chaleur produite par la source de chaleur externe;

β est l'angle de croisement;

L est la profondeur de pose du câble dimensionné;

L_h est la profondeur de pose de la source de chaleur.

Le facteur d'atténuation γ s'exprime par:

$$\gamma = \sqrt{(1 - \Delta W \cdot T) \cdot \frac{T_L}{T_r}} \quad (3)$$

avec

$$T_L = \frac{\rho_{cr}}{A} \quad (4)$$

$$T_r = T_1 + n \cdot (T_2 + T_3 + T_4) \quad (5)$$

$$T = T_1 + n \times [(1 + \lambda_1) \times T_2 + (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \times (T_3 + T_4)] \quad (6)$$

$$\Delta\theta_d = W_d \times \left[\frac{T_1}{2} + n \times (T_2 + T_3 + T_4) \right] \quad (7)$$

$$\Delta W = \Delta W_0 \times \left[1 - \frac{\Delta\theta(0)}{\Delta\theta_{max} - \Delta\theta_d} \right] \quad (8)$$

$$\Delta W_0 = \frac{R \times \alpha_{20} \times I^2}{1 + \alpha_{20} \times (\theta_{max} - 20)} \quad (9)$$

où

ρ_{cr} est la résistivité thermique de l'âme;

Pour le cuivre $\rho_{cr} = 0,0026 \text{ Kxm/W}$; pour l'aluminium $\rho_{cr} = 0,0049 \text{ Kxm/W}$.

A est la section de l'âme;

α_{20} est le coefficient de variation de la résistivité électrique avec la température pour le matériau de l'âme;

I est le courant maximal admissible du câble dimensionné, lorsqu'il est seul.

Les autres variables sont définies dans les autres parties de la série CEI 60287.

Typiquement une valeur de $\Delta z = 0,01$ m peut être utilisée. On doit contrôler que

$$\gamma \times \Delta z < \varepsilon \quad (10)$$

N est déterminé à partir de:

$$N = \frac{z_{max}}{\Delta z} \text{ avec } \Delta\theta_{uh}(N \times \Delta z) < \varepsilon \quad (11)$$

où ε a une faible valeur, typiquement 0,01. La distance z_{max} dépend de la résistance thermique longitudinale des conducteurs, de la distance entre le câble et la source de chaleur, ainsi que de la chaleur dégagée par la source qui croise le câble. Dans l'exemple de l'Annexe A, une valeur de 5 m est utilisée.

$\Delta\theta_{uh}(z)$ représente l'échauffement de l'âme, fonction de la distance z au point de croisement, dû à la source de chaleur qui croise le câble. Cet échauffement peut être obtenu par application du principe de Kennelly:

$$\Delta\theta_{uh}(z) = \frac{\rho}{4\pi} \times W_h \times \ln \frac{(L + L_h)^2 + z^2 \times \sin^2 \beta}{(L - L_h)^2 + z^2 \times \sin^2 \beta} \quad (12)$$

Comme γ dépend du courant dans le câble dimensionné, lequel est à déterminer, un processus itératif est nécessaire, prenant comme première estimation du courant le courant obtenu en effectuant le dimensionnement du câble quand la source de chaleur est supposée parallèle au câble.

La première estimation de $\Delta\theta(0)$ se présente ainsi:

$$\Delta\theta(0) = \frac{\rho}{4\pi} \times W_h \times \ln \frac{(L + L_h)^2}{(L - L_h)^2} \quad (13)$$

4.3 Croisements multiples

L'Equation (1) exprimant le coefficient réducteur en 4.1 peut être généralisée au cas où plusieurs sources de chaleur croisent le câble à dimensionner en appliquant le principe de superposition. Pour permettre cette généralisation, on doit supposer que le point $z = 0$ est le point où la température du câble dimensionné est maximale.

NOTE Si la position du point le plus chaud ne peut pas être prédéterminée, il peut être nécessaire d'effectuer le calcul en plusieurs points pour s'assurer que l'on a trouvé le point le plus chaud.

Lorsque plusieurs sources de chaleur croisent le câble dimensionné (par exemple, lorsque la source de chaleur est constituée d'un autre circuit comprenant plusieurs câbles), la même équation est valable, c'est-à-dire que le coefficient réducteur a la même expression:

$$DF = \sqrt{1 - \frac{\Delta\theta(0)}{\Delta\theta_{max} - \Delta\theta_d}} \quad (14)$$

où le terme $\Delta\theta(0)$ intègre l'effet de chaque source de chaleur h .

$$\Delta\theta(0) = \sum_{h=1}^k T_{mh} \times W_h \quad (15)$$

Soit r la désignation du câble dimensionné et z_r la coordonnée z du point le plus chaud du câble r . Alors, pour toute source de chaleur, h , située à la cote $z = z_h$, on a

$$T_{mh} = \frac{\rho \times (e^{\gamma \times \Delta z} - 1)}{4\pi} \times \sum_{v=1}^N e^{-v \times \gamma \times \Delta z} \ln \frac{(L_r + L_h)^2 + [(z_r - z_h) + v \times \Delta z] \times \sin \beta_h]^2}{(L_r - L_h)^2 + [(z_r - z_h) + v \times \Delta z] \times \sin \beta_h]^2} \quad (16)$$

où

k est le nombre de sources de chaleur croisant le câble dimensionné;

L_h est la profondeur de pose de la source de chaleur h .

Le facteur d'atténuation γ doit être calculé à l'aide de l'Equation (3) avec, comme première estimation:

$$\Delta\theta(0) = \frac{\rho}{4 \times \pi} \times \sum_{h=1}^k W_h \times \ln \frac{(L + L_h)^2 + (z_r - z_h)^2}{(L - L_h)^2 + (z_r - z_h)^2} \quad (17)$$

4.4 Dimensionnement de deux câbles se croisant

Pour calculer le courant maximal admissible par chacun des câbles, un processus itératif est nécessaire. La première étape du processus est le calcul du coefficient réducteur pour l'un des câbles en supposant que l'autre câble transporte son courant maximal admissible lorsqu'il est seul. Le coefficient réducteur pour le deuxième câble est ensuite calculé en supposant que le premier câble transporte le courant admissible, compte tenu du coefficient réducteur. Ce calcul est répété jusqu'à ce que le coefficient réducteur ne change plus.

Par exemple, considérons deux circuits ayant pour courants admissibles lorsqu'ils sont seuls I_1 et I_2 :

- D'abord, on calcule le coefficient réducteur pour le circuit 1, DF_1 , en supposant que le circuit 2 transporte son courant maximal admissible lorsqu'il est seul, I_2 .
- Ensuite, on calcule le coefficient réducteur pour le circuit 2, DF_2 , en supposant que le circuit 1 transite le courant $I_1 \times DF_1$, intégrant le coefficient réducteur. C'est-à-dire que W_h est basé sur $I_1 \times DF_1$.
- On calcule une nouvelle valeur du coefficient réducteur pour le circuit 1, DF_1 , en supposant que le circuit 2 transite le courant $I_2 \times DF_2$, intégrant le coefficient réducteur. Pour ce calcul, les valeurs de $\Delta\theta_{\max}$ and $\theta_{\max}$ des Equations (8) et (9) sont basées sur $I_1 \times DF_1$, et I est remplacé par $I_1 \times DF_1$ dans l'Equation (9).
- On recalcule ensuite le coefficient réducteur pour le circuit 2 selon la méthode décrite pour le circuit 1 à l'étape c).
- On répète les étapes c) et d jusqu'à ce que les coefficients réducteurs calculés ne varient plus.

Annexe A (informative)

Exemple de calcul

L'exemple choisi porte sur un circuit de câbles unipolaires isolés au PR 10 kV, 300 mm² Cu, posés en nappe (avec un entraxe de 0,072 m) et un câble tripolaire à huile fluide 132 kV, 400 mm² Cu.

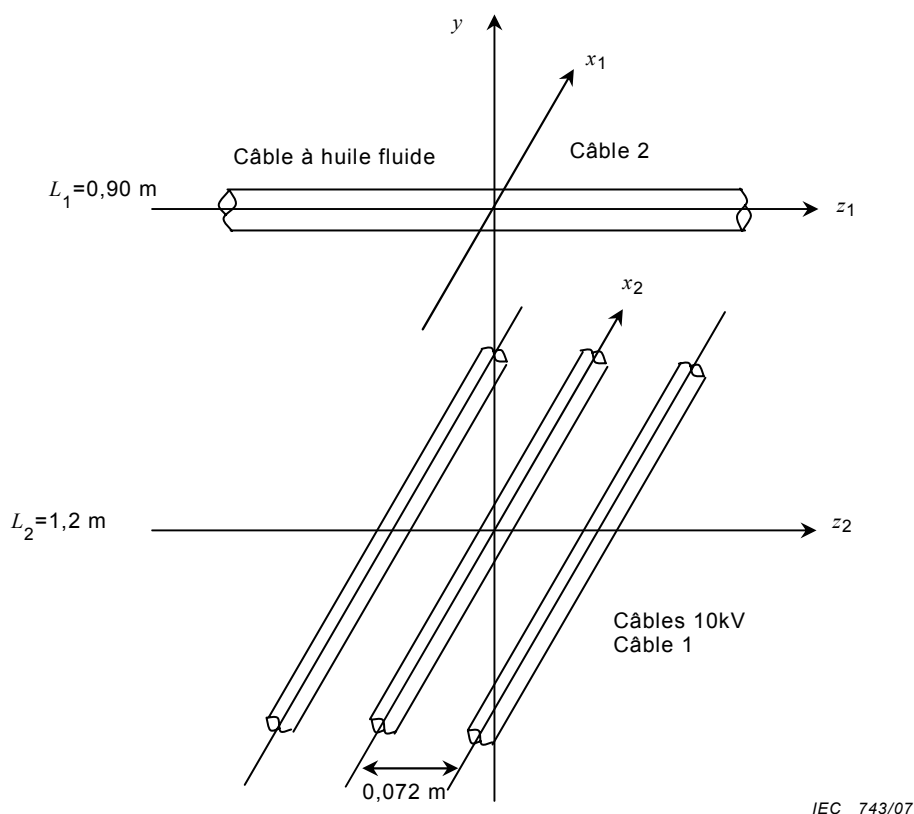


Figure A.1 – Configuration d'installation des câbles

Les éléments suivants sont nécessaires au calcul du coefficient réducteur:

- température ambiante $\theta_{amb} = 25\text{ °C}$;
- résistivité du sol = 0,8 Kxm/W;
- angle du croisement = 90° (circuits sont à angle droit).

Table A.1 – Données sur les câbles et la configuration d'installation

Type de câble	Caractéristiques des câbles (câble le plus chaud)		
		10 kV	132 kV
Section	A (mm ²)	300	400
Température maximale admissible	$\theta_{\max}$ (°C)	90	85
Courant admissible du câble lorsqu'il est seul	I (A)	665	585
Résistance de l'âme à $\theta_{\max}$	R (ohm/km)	0,0781	0,0615
Facteur de pertes écran (gaine ou fils concentriques)	λ_1	0,089	0,135
Facteur de pertes armure	λ_2	0	0
Résistance thermique de l'enveloppe isolante	T_1 (Kxm/W)	0,214	0,835
Résistance thermique de la gaine de protection	T_3 (Kxm/W)	0,104	0,090
Résistance thermique externe pour un taux de charge de 100%	T_4 (Kxm/W)	1,427	0,445
Pertes dans l'âme par conducteur	W_c (W/m)	34,54	21,05
Pertes diélectriques par conducteur	W_d (W/m)	0	2,01
Pertes joule totales par conducteur	W_I (W/m)	37,61	23,89
Pertes totales par conducteur	W (W/m)	37,61	25,90
Profondeur de pose (m)	L (m)	1,20	0,90

Table A.2 – Coefficient réducteur pour le circuit 300 mm² PR 10 kV

Type de câble type: 300 mm ² PR 10 kV			
Caractéristiques			Equation
Résistance thermique longitudinale des âmes T_L	K/m/W	$0,0026 / 300 \times 10^{-6} = 8,67$	4
T_r	Kxm/W	$0,214 + 0,104 + 1,427 = 1,745$	5
T	Kxm/W	$0,214 + 1,09 \times (0,104 + 1,427) = 1,88$	6
$\Delta\theta_{\max}$	°C	$90 - 25 = 65$	
$\Delta\theta_d$	°C	0	7
ΔW_0	W/m	$\frac{0,0781 \times 10^{-3} \times 0,00393 \times 665^2}{1 + 0,00393 \times (90 - 20)} = 10,64 \times$	9
Calcul du coefficient réducteur		Avec: $\Delta z = 0,01 \text{ m}$ – $N > 500$	
Première estimation de $\Delta\theta$	°C	$\frac{0,8 \times 25,90 \times 3}{4 \times \pi} \times \ln \left[\frac{(1,20 + 0,9)^2}{(1,20 - 0,9)^2} \right] = 19,2$	13
Première estimation de ΔW	W/K·m	$10,64 \times 10^{-2} \times \left(1 - \frac{19,2}{65} \right) = 0,075$	8
Première estimation de γ	m ⁻¹	$\sqrt{\frac{(1 - 0,075 \times 1,88) \times 8,67}{1,745}} = 2,07$	3
Estimation finale de $\Delta\theta$ (deuxième itération)	°C	14,1	2
Coefficient réducteur DF		$\sqrt{1 - \frac{14,1}{65}} = 0,89$	1

Le coefficient réducteur calculé ci-dessus est celui qui est appliqué au courant admissible des câbles 10 kV, pour intégrer l'échauffement dû au câble 132 kV qui le croise. Ce coefficient ne prend pas en compte l'échauffement du câble 132 kV dû aux câbles 10 kV qui le croisent (voir 4.4).

Table A.3 – Coefficient réducteur pour le câble 400 mm² 132 kV

Type de câble: 400 mm ² 132 kV			
Caractéristiques			Equation
Résistance thermique longitudinale des âmes T_L	K/m/W	$0,0026 / 400 \times 10^{-6} = 6,5$	4
T_r	Kxm/W	$0,835 + 3 \times (0,09 + 0,445) = 2,44$	5
T	Kxm/W	$0,835 + 3 \times 1,135 \times (0,09 + 0,445) = 2,66$	6
$\Delta\theta_{max}$	°C	$85 - 25 = 60$	
$\Delta\theta_d$	°C	$2,01 \times \left[\frac{0,835}{2} + 3 \times (0,09 + 0,445) \right] = 4,1$	7
ΔW_0	W/m	$\frac{0,0615 \times 10^{-3} \times 0,00393 \times 585^2}{1 + 0,00393 \times (85 - 20)} = 6,59 \times 10^{-2}$	9
Calcul du coefficient réducteur		Avec: $\Delta z = 0,01 \text{ m} \quad - \quad N > 500$	
Première estimation de $\Delta\theta$	°C	$\frac{0,8 \times 37,61}{4 \times \pi} \cdot \left\{ \ln \left[\frac{(1,2 + 0,9)^2}{(1,2 - 0,9)^2} \right] + 2 \times \ln \left[\frac{(1,2 + 0,9)^2 + 0,072^2}{(1,2 - 0,9)^2 + 0,072^2} \right] \right\} = 27,7$	17
Première estimation de ΔW	W/K·m	$6,59 \times 10^{-2} \times \left(1 - \frac{27,7}{60 - 5,2} \right) = 0,033$	8
Première estimation de γ	m ⁻¹	$\sqrt{\frac{(1 - 0,033 \times 2,66) 6,5}{2,44}} = 1,558$	3
Première estimation de la résistance thermique mutuelle:			
Câble latéral gauche	Kxm/W	0,156	16
Câble central	Kxm/W	0,165	16
Câble latéral droit	Kxm/W	0,174	16
Deuxième estimation de $\Delta\theta$ (1° itération)	°C	18,6	15
Estimation finale de $\Delta\theta$ (2° itération)	°C	18,5	15 + 16
Coefficient réducteur DF		$\sqrt{1 - \frac{18,5}{60}} = 0,82$	1

Le coefficient réducteur calculé ci-dessus est celui qui est appliqué au courant admissible du câble 132 kV pour intégrer l'échauffement dû aux câbles 10 kV qui le croisent. Ce coefficient ne prend pas en compte l'échauffement des câbles 10 kV dû au câble 132 kV qui le croise (voir 4.4).

Dimensionnement simultané des deux liaisons

En utilisant la méthode exposée en 4.4, quatre itérations sont nécessaires pour obtenir les coefficients réducteurs des deux liaisons, tenant compte des influences thermiques mutuelles. Le résultat final est le suivant:

Table A.4 – Coefficients réducteurs

Dimensionnement des deux liaisons	
Type de câble	Coefficient réducteur
300 mm ² PR 10 kV	0,91
400 mm ² 132 kV	0,88

Annexe B (informative)

Calcul de l'échauffement en tout point du tracé

L'échauffement en tout point, z , peut être déduit de:

$$\Delta\theta(z) = \Delta\theta_{uh}(m \cdot \Delta z) + A_m e^{\gamma z} + B_m e^{-\gamma z}$$

$$\text{pour } m \cdot \Delta z \leq z \leq (m+1) \cdot \Delta z$$

les constantes A_m et B_m étant tirées des relations de récurrence suivantes:

$$A_0 = B_0 = \frac{\Delta\theta(0) - \Delta\theta_{uh}(0)}{2}$$

$$A_m = A_{m-1} - \frac{\Delta\theta_{uh}(m \cdot \Delta z) - \Delta\theta_{uh}[(m-1) \cdot \Delta z]}{2} \cdot e^{-\gamma \cdot (m-1) \cdot \Delta z}$$

$$B_m = B_{m-1} - \frac{\Delta\theta_{uh}(m \cdot \Delta z) - \Delta\theta_{uh}[(m-1) \cdot \Delta z]}{2} \cdot e^{\gamma \cdot (m-1) \cdot \Delta z}$$

ISBN 2-8318-9151-5



9 782831 891514

ICS 29.060.20
