

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

AMENDMENT 1 AMENDEMENT 1

**Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables –
Part 2: Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings
for cables of all voltages**

**Calcul des capacités de transport des câbles pour les régimes de charge
cycliques et de surcharge de secours –
Partie 2: Régime cyclique pour des câbles de tensions supérieures à 18/30
(36) kV et régimes de secours pour des câbles de toutes tensions**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- 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.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- 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

NORME INTERNATIONALE

AMENDMENT 1 AMENDEMENT 1

**Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables –
Part 2: Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings
for cables of all voltages**

**Calcul des capacités de transport des câbles pour les régimes de charge
cycliques et de surcharge de secours –
Partie 2: Régime cyclique pour des câbles de tensions supérieures à 18/30
(36) kV et régimes de secours pour des câbles de toutes tensions**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

K

ICS 29.060.20

ISBN 2-8318-1013-2

FOREWORD

This amendment has been prepared by IEC technical committee 20: Electric cables.

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

FDIS	Report on voting
20/965/FDIS	20/991/RVD

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

The committee has decided that the contents of this amendment and the base 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.

PREFACE

Replace the quoted IEC publication "287(1982)", by the following:

IEC 60287-1-1, *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – General*

IEC 60287-2-1, *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 2-1: Thermal resistance – Calculation of thermal resistance*

IEC 60287-3-1, *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 3-1: Sections on operating conditions – Reference operating conditions and selection of cable type*

Throughout the standard, replace all references to "IEC Publication 287" by "the IEC 60287 series".

Add the following new reference:

IEC 60853-3, *Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables – Part 3: Cyclic rating factor for cables of all voltages, with partial drying of the soil*

1.1 General

Replace the first paragraph by the following:

This standard gives manual methods for calculating cyclic rating factors for cables whose internal thermal capacitance cannot be neglected; in general this applies to cables for voltages greater than 18/30 (36) kV. It also gives a method for calculating the emergency rating for cables of any voltage. IEC 60853-1 deals with cyclic rating factors for cables of voltages not greater than 18/30 (36) kV where the internal thermal capacitance could be

neglected. IEC 60853-3 deals with cyclic rating factors for cables of all voltages when partial drying of the soil occurs.

Delete the fourth paragraph.

Add the following three new paragraphs at the end of 1.1:

When the load current changes in discrete and multiple steps the method set out in Clause 4 can be used to determine the temperature response of the cable.

This method shall be used carefully where a large number of steps is considered, or long duration steps are dealt with, or large variations of the load current occur.

As the method involves an iterative process, the convergence criterion shall be adapted to the different situations.

2 Symbols

Replace the word “sheath” by “metallic sheath or screen” under definitions Q_s , q_a , q_j and q_s .

Throughout the text, starting with the “Unit” column, replace “J/m.K” with “J/Km” also replace “K.m/W” with “Km/W”.

Replace the definition for N with “ N = number of cables in a group, or, for touching cables, the number of circuits, see 7.4 b)”

Replace “ δ ” by “ σ ” in order to align with the French version. Also in the “Unit” column, replace “J/K.m³” by “J/Km³”.

Add the following new definition:

$\Delta\theta_d$	Steady-state conductor temperature rise above ambient due to dielectric losses	K
------------------	--	---

4.2.1.1 Single-core cables

Replace, in the second line, the word “sheath” by “metallic sheath or screen”.

4.2.1.2 Three-core cables

Replace the existing Equation (4-2) by the following new Equation (4-2):

$$d_c = D_1 e^{-\left(\frac{2\pi T_1}{\rho_1}\right)} \quad (4-2)$$

Replace, in the first line after Equation (4-2) and in the first line of 4.2.1.2 b), the word “sheath” by “metallic sheath or screen”.

4.2.2.1 General

Add, at the end of the subclause, a third paragraph as follows:

For single-core cables in trefoil formation, the values of T_1 and T_3 are adjusted by the appropriate factors given in IEC 60287-2-1.

4.2.2.2 Representation of common types of cable

Replace, after Equation (4-6), in the definition for Q_s and twice in the definition for q_s , the word “sheath” by “metallic sheath or screen”.

4.2.4.1 Buried cables (directly or in ducts)

Replace the existing Equation (4-36) by the following new Equation (4-36):

$$\theta_e(t) = \frac{\rho_T W_I}{4\pi} \left\{ \left[-Ei\left(\frac{-D_c^2}{16t\delta}\right) - \left[-Ei\left(\frac{-L^2}{t\delta}\right) \right] \right] + \sum_{k=1}^{k=N-1} \left[-Ei\left(\frac{-(d_{pk})^2}{4t\delta}\right) - \left[-Ei\left(\frac{-(d'_{pk})^2}{4t\delta}\right) \right] \right] \right\} \quad (4-36)$$

Replace the final sentence of 4.2.4.1 beginning “This formula has been simplified ...” by the following new paragraph:

Equation (4-36) is the general equation for the transient response of buried cables and its application for cyclic rating purposes is given in Clause 7. It is noted that this equation cannot be used directly for cables in unfilled troughs.

4.3.2.1 General

Add, at the end of this subclause, a new paragraph as follows:

For single-core cables in trefoil formation the values of T_1 and T_3 are adjusted by the appropriate factors given in IEC 60287-2-1.

4.3.2.2 Representation of common types of cable

Replace the existing Equation (4-47) by the following new equation:

$$T_B = \frac{1}{2} T_1 + q_s T_f + q_a T_2 + q_j T_3 \quad (4-47)$$

4.4.1 Transient temperature response

Add the following new text after item b).

When the temperature response to a current that changes in discrete and multiple steps is calculated, the calculations described in this clause should be repeated for every partial step of the current. In the calculation of these partial transients, the correct heat source (the heat gained or lost in the partial current step) and the correct temperatures (for the calculation of electrical resistances) shall be used in the formulas above. One way of accomplishing this is to perform iterative calculations for each load step as follows:

- 1) Start with the temperature achieved at the end of the previous load step.
- 2) Calculate the electrical resistances corresponding to this temperature and obtain power losses.
- 3) With these losses calculate the temperature at the end of the time step.
- 4) Use this temperature to recalculate the electrical resistances and power losses and go to step 3.
- 5) Repeat steps 3 and 4 until convergence is achieved and go to the next load step.

The total temperature response per partial step will be found by using the appropriate formulae in this clause. The complete total temperature response of the cable circuit will be

found by adding all the partial transients, thereby taking the time differences between the partial steps into account.

4.4.1.2 Cables in air

Replace the last paragraph by the following:

T_4 is the external thermal resistance due to air in the steady-state, calculated according to IEC 60287-2-1, and shall be expressed as a quantity per conductor or equivalent conductor.

4.4.2 Correction to transient temperature response for variation in conductor losses with temperature (emergency ratings only)

Replace the heading of this subclause with the words “Not used”.

Delete the text of this subclause, including Equation (4-73).

4.4.3.2 Cables at voltages higher than 275 kV

Replace, in the third line, and in the penultimate paragraph, the word “sheath” by “metallic sheath or screen”.

Add, at the end of the subclause, the following new text:

Information on the voltages above which dielectric losses should be considered is given in IEC 60287-1-1.

5.1 General

Replacethe existing Equation (5-1) by the following new Equation (5-1):

$$\theta_{\max} = Y_0 \theta_R(1) + Y_1 [\theta_R(2) - \theta_R(1)] + Y_2 [\theta_R(3) - \theta_R(2)] + Y_5 [\theta_R(6) - \theta_R(5)] + \mu [\theta_R(\infty) - \theta_R(6)] \quad (5-1)$$

5.2.1 Any load cycle of known shape

Replace the existing Equation (5-3) by the following new Equation (5-3):

$$M = \frac{1}{\left(\sum_{i=0}^5 Y_i \left[\frac{\theta_R(i+1)}{\theta_R(\infty)} - \frac{\theta_R(i)}{\theta_R(\infty)} \right] + \mu \left[1 - \frac{\theta_R(6)}{\theta_R(\infty)} \right] \right)^{1/2}} \quad (5-3)$$

5.2.2 Flat top load cycle

Replace the existing Equation (5-5) by the following new Equation (5-5):

$$M = \left[\frac{1}{(1 - (1 - \mu)[1 - \alpha(6) + k\alpha(6)\{1 - \beta(6)\}])} \right]^{1/2} \quad (5-5)$$

7.2 Single isolated circuit

Under item a) 1), replace “ ... for cables in ducts, in trefoil or flat touching formation....” by “....for cables in trefoil or flat touching formation or in ducts... “

7.4 Group of “N” circuits, each of three single-core identical touching cables or ducts, all cables having equal losses

Replace the existing title and text of this subclause by the following:

7.4 Group of circuits, each of three single-core identical touching cables or ducts, all cables having equal losses

The methods are the same as those given in 7.3 above, except that:

- a) The external thermal resistance T_4 , on which the value of k_1 is dependent, relates to

$$T_4 = \frac{1,5}{\pi} \rho_T \left[\ln \left(\frac{4L}{D_e} \right) - 0,630 \right] \quad (7-13)$$

for metallic sheathed and part-metallic covered cables (where helically laid armour or screen wires cover from 20 % to 50 % of the cable circumference),

or

$$T_4 = \frac{1}{2\pi} P_T \left[\ln \left(\frac{4L}{D_e} \right) + 2 \ln \left(\frac{2L}{D_e} \right) \right] \quad (7-14)$$

for non-metallic sheathed cables

where

ρ_T is the soil thermal resistivity, in Km/W;

L is the depth of laying, in metres (m);

D_e is the external diameter of cable or duct, in metres (m).

- b) The symbols N , d'_{pk} and d_{pk} used for the calculation of $\gamma(i)$, F and d_f in equations (7-7), (7-8) and (7-9) are defined as:

- N is the number of circuits (of three single-core cables per circuit)
- d_{pk} is the distance from the centre of circuit k to the centre of the circuit containing the hottest cable;
- d'_{pk} is the distance of the image of the centre of circuit k to the centre of the circuit containing the hottest cable.

- c) Additional external thermal resistance caused by heating from other cables in a group is expressed by:

$$\Delta T_4 = \frac{3\rho_T \ln F}{2\pi} \quad (7-15)$$

where F is given by item b) above.

- d) W_1 is the total loss per unit length per single cable or duct.

- e) The value of the cable or duct diameter to be assumed for the calculation of $\gamma(i)$ is that of an isolated cable or duct.

8.1 Thermally isolated circuits

Replace, against definition $\theta_R(t)$ “ $\theta_R(t)$ is calculated in Sub-clause 4.4” by “see the calculation for $\theta(t)$ in 4.4”

Insert, immediately after Equation (8-1), the following new paragraph:

This equation takes account of the variation of conductor resistance with temperature. Thus Equation (8-3) should not be applied when Equation (8.1) is used. Where armour, screen or metallic sheath losses are high, it is recommended that the losses at the final armour, screen or metallic sheath temperature are used in determination of the transient temperature response.

After Equation (8-2), *replace* “(See IEC Publication 287, Clause 3)” *by* “(See IEC 60287-1-1.)”

8.2 Groups of circuits

Add, after 8.2, a new subclause 8.3 as follows:

8.3 Correction to transient temperature response to take account of variation in conductor losses with temperature

The change in conductor resistance with temperature during the transient period results in conductor losses being variable with time. Allowance for the variation of conductor loss with temperature gives the corrected temperature rise:

$$\theta_{\alpha}(t) = \frac{\theta(t)}{1 + \alpha(\theta(\infty) - \theta(t))} \quad (8-3)$$

where

$\theta(t)$ is the conductor transient temperature rise above ambient without correction for variation in conductor loss, and is based on the conductor resistance at the end of the transient period;

$\theta(\infty)$ is the conductor steady-state temperature rise above ambient;

α is the temperature coefficient of electrical resistivity of the conductor material at the start of the transient.

NOTE $\alpha = \frac{1}{\beta + \theta_i}$

where

β is the reciprocal of temperature coefficient at 0 °C (see Table E.2);

θ_i is the conductor temperature at the start of the transient period.

Appendix E – Physical constants of materials

In the second footnote beneath Table E.1, replace “in Sub-clause 9.7.1 of IEC Publication 287” *by* “in IEC 60287-2-1”.

F.2 Cable and installation details

Replace, in the third line of the first paragraph, “1 580 A” by “1 550 A”.

Table F.1 – Cable details

Replace, in the fifth column, “13,35” by “14,75” against the item “Dielectric”.

Replace, in the summation row, “45,75” by “47,15”.

F.3 Derivation of thermal circuit of the cable

Replace, in the fifth line “ T_i ” by “ T_1 ”.

Replace, In the equations labelled “(from equation (4-1))” and “(from equation (4-6))”, the symbol “ ρ ” by “ p ”.

Replace “(from equation 4-6))” by “(from equation 4-7))”.

Replace “(from equation 4-7))” by “from equation 4-6))”.

F.4 Example of the calculation of the transient response

Add, at the end of the first paragraph, the following new paragraph:

In the following example, the transient response is based on the formulae in 4.2 for a transient of long duration. As the first time step chosen is less than one-third of the time constant of the cable, the use of the formulae in 4.3 could be justified for the first time step. However, this would lead to a discontinuity in the temperature rise curve that cannot be justified.

F.4.1 Calculation of the response of the cable circuit

Replace the equation for T_a by the following:

$$T_a = \frac{1}{(2,48 \times 10^{-3} - 1,45 \times 10^{-4})} \left[\frac{1}{12\,966} - 1,45 \times 10^{-4} (0,488 + 0,04) \right] = 2,42 \times 10^{-4} \text{ Km/W}$$

F.4.3 Calculation of the complete temperature transient

Replace the line that starts “Correcting for variation ... ” as follows:

Correcting for variation of conductor losses using equation (8-3):

Replace the equation as follows: :

$$\theta_a(1) = \frac{7,1}{1 + \frac{1}{234,5 + 31,3} (85 - 31,3 - 7,1)} = 6 \text{ K} \quad (8-3)$$

Replace the existing note by the following new note:

NOTE Initial temperature = 31,3 °C due to 21,3 K dielectric loss contribution. Actual conductor temperature = 31,3 °C + 5,6 °C = 36,9 °C.

Table F.3 – Summary of temperature transient components

Replace the temperatures given in columns (6) and (7) by the following new values:

(6)	(7)
6,0	37,0
10,4	41,8
13,5	44,8

15,6	46,9
17,0	48,3
18,1	49,4
21,3	52,7
24,8	56,1

F.5.1 Cyclic load details

Add the following new paragraph after the equation for μ .

From an examination of the load cycle, Figure 8, it has been estimated that the highest conductor temperature will occur at 17 h.

F.5.6 Cyclic rating factor M

Replace, in the last line, " $1.28 \times 1\,580 = 2\,022\text{ A}$ " by " $1.28 \times 1\,550 = 1\,984\text{ A}$ "

Add, after the equation, the following new paragraph:

Repeat calculations for other assumed times of maximum temperature show that the actual time of maximum temperature is at 12 h. The cyclic rating factor based on this time is 1,27.

F.6.2 Emergency current rating

Replace " $I_R = 1\,580\text{ A}$ " by " $I_R = 1\,550\text{ A}$ "

Replace the last three lines that follow the symbol R_R by the following:

Temperature due to dielectric loss = 21,3 K

Steady-state temperature rise due to joule losses = $85 - 10 - 21,3 = 53,7\text{ K}$

$\theta_R(6) = \theta_a(6) = 18,1\text{ K}$ (see Table F.3, column 6) for application of a step function of rated current.

Replace the existing equation for I_2 by the following new equation:

$$I_2 = 1\,550 \left[0,771^2 \frac{11,625}{12,612} + \frac{1 \left[1 - 0,771^2 \frac{11,625}{12,612} \right]^{0,5}}{\left(\frac{18,1}{53,7} \right)} \right] = 2\,131\text{ A} \quad (\text{from equation (8-1)})$$

Figure 6

Replace, in the figure title, " $0.30 \leq x \leq 0.1$ " by " $0,1 \leq x \leq 0,3$ "

NOTES TO FIGURES 6 AND 7 "SCALES FOR EXPONENTIAL INTEGRAL"

In the list of coefficients, replace " $a_4 = 0,009\ 8$ " by " $a_4 = -0,009\ 8$ ".

Replace in the second expression for $-Ei(-x)$, " xe_x " by " xe^x " and " b_i " by " b_1 ".

AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le Comité d'études 20: Câbles électriques.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
20/965/FDIS	20/991/RVD

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

Le comité a décidé que le contenu de cet amendement et de la publication de base 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.

PRÉFACE

Remplacer la publication de la CEI «287(1982)» citée par ce qui suit:

CEI 60287-1-1, Câbles électriques – Calcul du courant admissible – Partie 1-1: Equations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100 %) et calcul des pertes – Généralités

CEI 60287-2-1, Câbles électriques – Calcul du courant admissible – Partie 2-1: Résistance thermique – Calcul de la résistance thermique

CEI 60287-3-1, Câbles électriques – Calcul du courant admissible – Partie 3-1: Sections concernant les conditions de fonctionnement – Conditions de fonctionnement de référence et sélection du type de câble

Partout dans la norme, remplacer toute référence à «la Publication 287 de la CEI» par «la série CEI 60287».

Ajouter la nouvelle référence suivante:

CEI 60853-3, Calcul des capacités de transport des câbles pour les régimes de charge cycliques et de surcharge de secours – Partie 3: Facteur de capacité de transport cyclique pour des câbles de toute tension, avec assèchement partiel du sol

1.1 Généralités

Remplacer le première alinéa par ce qui suit:

La présente norme donne des méthodes manuelles de calcul des facteurs de capacité de transport en régime cyclique pour les câbles dont la capacité thermique interne ne peut pas

être négligée; en général, ceci concerne les câbles de tensions supérieures à 18/30 (36) kV. Elle donne aussi une méthode de calcul des capacités de transport en surcharge de secours pour les câbles de toute tension. La CEI 60831-1 traite des facteurs de capacité de transport cyclique des câbles de tensions inférieures ou égales à 18/30 (36) kV, dont la capacité thermique interne peut être négligée. La CEI 60831-3 porte sur les facteurs de capacité de transport en régime cyclique pour les câbles de tout niveau de tension en cas de dessèchement partiel du sol.

Supprimer le quatrième paragraphe.

Ajouter les trois nouveaux alinéas à la fin de 1.1:

La méthode décrite à l'Article 4 peut être utilisée pour déterminer la réponse en température d'un câble soumis à un courant qui varie par paliers successifs.

Cette méthode doit être utilisée avec précaution lorsqu'elle est appliquée à un grand nombre de paliers, à des paliers de longue durée ou à des situations comportant de fortes variations du courant de charge.

Comme elle inclut un processus itératif, le critère de convergence doit être adapté aux différentes situations.

2 Symboles

Remplacer le mot «gaine» par «gaine ou écran métallique» dans les définitions de Q_s , q_a , q_j et q_s .

Dans tout le texte, en commençant avec la colonne «Unités», remplacer «J/m.K» par «J/Km» ainsi que « K.m/W » par « Km/W ».

Remplacer la définition de N par « N = nombre de câbles dans un groupe, ou, pour des câbles jointifs, nombre de circuits, voir 7.4.b) »

Dernière ligne, dans la colonne «Unités» remplacer «J/K.m³» par «J/Km³».

Ajouter la nouvelle définition suivante:

$\Delta\theta_d$	Echauffement de l'âme au-dessus de l'ambiante en régime permanent, dû aux pertes diélectriques	K
------------------	--	---

4.2.1.1 Câbles unipolaires

Remplacer, dans la deuxième ligne, le mot «gaine» par «gaine ou écran métallique».

4.2.1.2 Câbles tripolaires

Remplacer l'Equation (4-2) existante par la nouvelle Equation (4-2) suivante:

$$d_c = D_i e^{\frac{2\pi T_1}{\rho_i}} \quad (4-2)$$

Remplacer, dans la première ligne après l'Equation (4-2), et dans la première ligne of 4.2.1.2 b), le mot «gaine» par «gaine ou écran métallique».

4.2.2.1 Généralités

Ajouter, à la fin du paragraphe, un troisième alinéa, comme suit:

Pour les câbles unipolaires en trèfle, les valeurs de T_1 et T_3 sont modifiées à l'aide des facteurs appropriés donnés dans la CEI 60287-2-1.

4.2.2.2 Représentation des types courants de câbles

Remplacer, après l'Equation (4-6), dans la définition pour Q_s et deux fois dans la définition pour q_s , le mot «gaine» par «gaine ou écran métallique».

4.2.4.1 Câbles enterrés (directement ou en fourreaux)

Remplacer l'Equation (4-36) existante par la nouvelle Equation (4-36) suivante:

$$\theta_e(t) = \frac{\rho_T W_I}{4\pi} \left\{ \left[-Ei \left(\frac{-D_e^2}{16t\delta} \right) - \left[-Ei \left(\frac{-L^2}{t\delta} \right) \right] \right] + \sum_{k=1}^{k=N-1} \left[-Ei \left(\frac{-(d_{pk})^2}{4t\delta} \right) - \left[-Ei \left(\frac{-(d'_{pk})^2}{4t\delta} \right) \right] \right] \right\} \quad (4-36)$$

Remplacer la dernière phrase de la 4.2.4.1, qui commence «Cette formule a été simplifiée ...» par le nouvel alinéa suivante:

L'Equation (4-36) est l'équation générale donnant la réponse transitoire des câbles enterrés; l'Article 7 expose son application au dimensionnement en régime cyclique. On doit noter que cette équation ne peut pas être utilisée pour les câbles installés dans des fourreaux non remplis.

4.3.2.1 Généralités

Ajouter, à la fin de ce paragraphe, un nouveau alinéa comme suit:

Pour les câbles unipolaires en trèfle, les valeurs de T_1 et T_3 sont modifiées à l'aide des facteurs appropriés donnés dans la 60287-2-1.

4.3.2.2 Représentation de types courants de câbles

Remplacer l'Equation (4-47) existante par la nouvelle équation suivante:

$$T_B = \frac{1}{2} T_1 + q_s T_f + q_a T_2 + q_j T_3 \quad (4-47)$$

4.4.1 Réponse transitoire en température

Ajouter le nouveau texte suivant après le point b).

Lorsque l'on calcule la réponse en température à des paliers successifs de courant, il convient de répéter les calculs décrits dans cet article pour chaque palier élémentaire de courant. Pour le calcul de ces transitoires partiels, on utilise dans les formules ci-dessus les sources de chaleur (la chaleur reçue ou perdue dans le palier élémentaire de courant) ainsi que les températures (pour le calcul des résistances électriques) effectives. Une manière de procéder consiste à effectuer des calculs itératifs pour chaque palier de charge, de la manière suivante:

- 1) Commencer avec la température obtenue à la fin du palier de charge précédent.
- 2) Calculer les résistances électriques correspondant à cette température et déterminer les pertes.

- 3) Avec ces pertes, calculer la température au moment de la fin du palier.
- 4) Utiliser cette température pour recalculer les résistances électriques et les pertes, et retourner à l'étape 3.
- 5) Répéter les étapes 3 et 4 jusqu'à ce qu'il y ait convergence, et passer au palier de charge suivant.

La réponse totale en température pour un palier élémentaire est obtenue à partir des formules appropriées de cet article. On trouve la réponse totale en température complète du circuit de câble par addition des transitoires élémentaires, en tenant compte des différentes durées des paliers élémentaires.

4.4.1.2 Câbles posés à l'air libre

Remplacer le dernier alinéa par ce qui suit:

T_4 est la résistance thermique extérieure due à l'air en régime permanent, calculée selon la CEI 60287-2-1, et doit se rapporter à un conducteur ou à un conducteur équivalent.

4.4.2 Correction à la réponse transitoire en température pour tenir compte de la variation des pertes dans l'âme avec la température (régimes de secours seulement)

Remplacer le titre de ce paragraphe par les mots «Non utilisé».

Supprimer le texte de ce paragraphe, y compris l'Equation (4-73).

4.4.3.2 Câbles de tension supérieure à 275 kV

Remplacer, dans la troisième ligne, et dans l'avant-dernier alinéa, le mot «gaine» par «gaine ou écran métallique».

Ajouter, à la fin du paragraphe, le nouveau texte suivant:

Une information sur la tension au-dessus de laquelle il convient de prendre en considération les pertes diélectriques est donnée dans la CEI 60287-1-1.

5.1 Généralités

Remplacer l'Equation (5-1) existante, par la nouvelle Equation (5-1) suivante:

$$\theta_{\max} = Y_0 \theta_R(1) + Y_1 [\theta_R(2) - \theta_R(1)] + Y_2 [\theta_R(3) - \theta_R(2)] + Y_5 [\theta_R(6) - \theta_R(5)] + \mu [\theta_R(\infty) - \theta_R(6)] \quad (5-1)$$

5.2.1 Cycle de charge quelconque de forme connue

Remplacer l'Equation (5-3) existante, par la nouvelle Equation (5-3) suivante:

$$M = \frac{1}{\left(\sum_{i=0}^5 Y_i \left[\frac{\theta_R(i+1)}{\theta_R(\infty)} - \frac{\theta_R(i)}{\theta_R(\infty)} \right] + \mu \left[1 - \frac{\theta_R(6)}{\theta_R(\infty)} \right] \right)^{1/2}} \quad (5-3)$$

5.2.2 Cycle de charge plafonné à une valeur constante

Remplacer l'Equation (5-5) existante, par la nouvelle Equation (5-5) suivante:

$$M = \left[\frac{1}{(1 - (1 - \mu)[1 - \alpha(6) + k\alpha(6) \{1 - \beta(6)\}])} \right]^{1/2} \quad (5-5)$$

7.2 Un seul circuit

Sous le point a) 1), remplacer « ... pour les câbles en fourreaux jointifs, disposés en trèfle ou en nappe,... » par « ... pour les câbles en trèfle ou en nappe ou en fourreaux.... »

7.4 Groupe de «N» circuits, composé chacun de trois câbles unipolaires ou fourreaux identiques et jointifs, tous les câbles ayant des pertes égales

Remplacer le titre et le texte existants de ce paragraphe par ce qui suit:

7.4 Groupe de circuits, composé chacun de trois câbles unipolaires ou fourreaux identiques et jointifs, tous les câbles ayant des pertes égales

Les méthodes sont les mêmes que celles données en 7.3 ci-dessus, excepté que:

- a) La résistance thermique extérieure T_4 , dont dépend la valeur de k_1 , est issue de

$$T_4 = \frac{1,5}{\pi} \rho_T \left[\ln \left(\frac{4L}{D_e} \right) - 0,630 \right] \quad (7-13)$$

pour les câbles à gaine métallique et les câbles recouverts partiellement d'un revêtement métallique (armure posée hélicoïdalement ou fils d'écran couvrant 20 % à 50 % de la circonférence du câble),

ou

$$T_4 = \frac{1}{2\pi} P_T \left[\ln \left(\frac{4L}{D_e} \right) + 2 \ln \left(\frac{2L}{D_e} \right) \right] \quad (7-14)$$

pour les câbles à gaine non métallique

où

ρ_T est la résistivité thermique du sol, en Km/W;

L est la profondeur de pose, en mètres (m);

D_e est le diamètre extérieur du câble ou du fourreau, en mètres (m).

- b) Les symboles N , d'_{pk} et d_{pk} à utiliser pour le calcul de $\chi(i)$, F et d_f dans les équations (7-7), (7-8) et (7-9) sont définis par:

- N est le nombre de circuits (avec trois câbles unipolaires par circuit)
- d_{pk} est la distance du centre du circuit k au centre du circuit contenant le câble le plus chaud,
- d'_{pk} est la distance de l'image du centre du circuit k au centre du circuit contenant le câble le plus chaud.

- c) La résistance thermique extérieure supplémentaire traduisant l'échauffement dû aux autres câbles dans un groupe s'exprime par

$$\Delta T_4 = \frac{3\rho_T \ln F}{2\pi} \quad (7-15)$$

où F est donné au point b) ci-dessus.

d) W_1 est la perte totale par unité de longueur d'un seul câble ou d'un fourreau unique.

e) La valeur du diamètre du câble ou du fourreau à faire intervenir dans le calcul de $\gamma(i)$ est celle d'un seul câble ou fourreau isolé.

8.1 Circuits thermiquement séparés

Remplacer, contre la définition de $\theta_R(t)$ «Les méthodes pour calculer $\theta_R(t)$ sont données au paragraphe 4.4 » par «voir le calcul de $\theta(t)$ en 4.4»

Insérer, immédiatement après l'Equation (8-1), le nouveau paragraphe suivant:

Cette équation prend en compte la variation de la résistance de l'âme avec la température. Par conséquent, il convient de ne pas utiliser l'Equation (8-3) quand on applique l'Equation (8.1). Lorsque les pertes dans une gaine ou un écran métallique, ou une armure sont élevées, il est recommandé d'utiliser, dans la détermination de la réponse transitoire en température, les pertes à la température finale de la gaine ou de l'écran métallique, ou de l'armure.

Après l'Equation (8-2), remplacer «(voir Publication 287 de la CEI, article 3)» par «(Voir la CEI 60287-1-1.)»

8.2 Groupes de circuits

Ajouter, après 8.2, un nouveau paragraphe 8.3 comme suit:

8.3 Correction à la réponse transitoire en température pour tenir compte de la variation des pertes dans l'âme avec la température

La variation de résistance de l'âme avec la température pendant le régime transitoire a pour conséquence une variation des pertes dans l'âme en fonction du temps. En tenant compte de la variation des pertes dans l'âme avec la température, on obtient l'échauffement corrigé:

$$\theta_{\alpha}(t) = \frac{\theta(t)}{1 + \alpha(\theta(\infty) - \theta(t))} \quad (8-3)$$

où

$\theta(t)$ est l'échauffement transitoire de l'âme au-dessus de la température ambiante sans correction pour la variation des pertes dans l'âme, calculées en utilisant la résistance de l'âme à la fin du régime transitoire;

$\theta(\infty)$ est l'échauffement de l'âme au-dessus de la température ambiante en régime permanent;

α est le coefficient de température de la résistivité électrique du matériau de l'âme au début du régime transitoire.

NOTE $\alpha = \frac{1}{\beta + \theta_i}$

ou

β est l'inverse du coefficient de température à 0 °C (voir Tableau E.2);

θ_i est la température de l'âme au début du régime transitoire

Annexe E – Constantes physiques des matériaux

Dans le deuxième appel de note de bas-de-page, après le Tableau E.1, remplacer «donnée au paragraphe 9.7.1 de la Publication 287 de la CEI.» par «donnée dans la CEI 60287-2-1.»

F.2 Détails concernant le câble et l'installation

Remplacer, à la troisième ligne du premier alinéa, «1 580 A» par «1 550 A».

Tableau F.1 – Détails concernant le câble

Remplacer, à la cinquième colonne, «13,35» par «14,75» contre l'élément «Isolant».

Remplacer, à la ligne donnant le résultat des sommations, «45,75» par «47,15».

F.3 Détermination du circuit thermique du câble

Remplacer, dans la cinquième ligne, « T_i » par « T_1 ».

Remplacer, dans les équations portant la mention «(en utilisant l'équation (4-1))» et «en utilisant l'équation (4-6))», le symbole « ρ » par « p ».

Remplacer «(en utilisant l'équation (4-6))» par «(en utilisant l'équation 4-7))».

Remplacer «(en utilisant l'équation 4-7))» par «(en utilisant l'équation 4-6))».

F.4 Exemple de calcul de la réponse transitoire

Ajouter, à la fin du premier alinéa, le nouveau alinéa suivant:

Dans l'exemple qui suit, la réponse transitoire est déduite selon 4.2 pour un transitoire de longue durée. Comme le premier palier choisi a une durée inférieure au tiers de la constante de temps du câble, l'utilisation des formules de 4.3 pourrait se justifier pour ce premier palier. Mais ceci conduirait dans la courbe d'échauffement à une discontinuité injustifiable.

F.4.1 Calcul de la réponse du circuit des câbles

Remplacer l'équation donnant T_a par ce qui suit:

$$T_a = \frac{1}{(2,48 \times 10^{-3} - 1,45 \times 10^{-4})} \left[\frac{1}{12\,966} - 1,45 \times 10^{-4} (0,488 + 0,04) \right] = 2,42 \times 10^{-4} \text{ Km/W}$$

F.4.3 Calcul du régime transitoire de température complet

Remplacer la ligne qui commence «Si on tient compte de la variation ... » par ce qui suit:

Si on tient compte de la variation des pertes dans l'âme, l'échauffement est donné par l'équation (8-3):

Remplacer l'équation par ce qui suit:

$$\theta_a(1) = \frac{7,1}{1 + \frac{1}{234,5 + 31,3}(85 - 31,3 - 7,1)} = 6 \text{ K} \quad (8-3)$$

Remplacer le note existant par le nouveau note suivant:

NOTE Température initiale = 31,3 °C due à une contribution des pertes diélectriques de 21,3 K. Température réelle de l'âme = 31,3 °C + 5,6 °C = 36,9 °C.'

Tableau F.3 – Résumé des composants du régime transitoire de température

Remplacer les températures données dans les colonnes (6) et (7) par les valeurs suivantes:

(6)	(7)
6,0	37,0
10,4	41,8
13,5	44,8
15,6	46,9
17,0	48,3
18,1	49,4
21,3	52,7
24,8	56,1

F.5.1 Détails sur le cycle de charge

Ajouter le nouveau alinéa après l'équation donnant μ .

L'examen du cycle de charge, Figure 8, conduit à estimer que c'est à 17 h que la température de l'âme est maximale.

F.5.6 Facteur de capacité de transport cyclique M

Remplacer, à la dernière ligne, « $1,28 \times 1\,580 = 2022 \text{ A}$ » par « $1,28 \times 1\,550 = 1\,984 \text{ A}$ »

Ajouter, après l'équation, le nouveau alinéa suivant:

En reprenant les calculs avec d'autres valeurs supposées de l'instant où la température est maximale, on montre que, en réalité, c'est à 12 h que la température atteint son maximum. Le facteur de capacité de transport cyclique correspondant à cet instant est 1,27.

F.6.2 Capacité de transport de secours

Remplacer « $I_R = 1\,580 \text{ A}$ » par « $I_R = 1\,550 \text{ A}$ »

Remplacer les dernières trois lignes qui suivent le symbole R_R par ce qui suit:

Echauffement dû aux pertes diélectriques = 21,3 K

Echauffement permanent dû aux pertes par effet Joule = $85 - 10 - 21,3 = 53,7 \text{ K}$

$\theta_R(6) = \theta_a(6) = 18,1$ K (voir Tableau F.3, colonne 6) pour l'application d'un échelon de courant nominal.

Remplacer l'équation donnant I_2 existante, par la nouvelle équation suivante:

$$I_2 = 1\,550 \left[0,771^2 \frac{11,625}{12,612} + \frac{1 \left[1 - 0,771^2 \frac{11,625}{12,612} \right]}{\left(\frac{18,1}{53,7} \right)} \right]^{0.5} = 2\,131 \text{ A} \quad (\text{en utilisant l'équation (8-1)})$$

Figure 6

Remplacer, dans le titre de la figure, « $0.30 \leq x \leq 0.1$ » par « $0,1 \leq x \leq 0,3$ »

NOTES AUX FIGURES 6 ET 7 « NOMOGRAMMES DE L'EXPONENTIELLE INTEGRALE »

Dans la liste de coefficients, remplacer « $a_4 = 0,009\,8$ » par « $a_4 = -0,009\,8$ ».

Remplacer, dans la seconde expression pour $-Ei(-x)$, « xe_x » par « xe^x » et « b_i » by « b_1 »

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch